



UNIVERSIDAD ANAHUAC
VINCE IN BONO MALUM

11 881217
29'
UNIVERSIDAD ANAHUAC

ESCUELA DE INGENIERIA

CON ESTUDIOS INCORPORADOS A LA

Universidad Nacional Autónoma de México

**RELOCALIZACION DE LA REFINERIA
18 DE MARZO POR MEDIO DE UN MODELO
DE PROGRAMACION LINEAL**

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

**T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA
(AREA INDUSTRIAL)**

**P R E S E N T A
EMILIANO GONZALEZ BLANCO BERNAL**

MEXICO. D. F.

1988



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



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 esta 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.

INDICE

	Página
CAPITULO I	
INTRODUCCION	1
I.1 Origen de la tesis	1
I.2 Objetivo de la tesis	3
I.3 Alcances de la tesis	5
CAPITULO II	
ANTECEDENTES DEL PETROLEO	7
II.1 En la industria mundial	7
II.1.1 Generalidades del petróleo	7
II.1.2 Antecedentes históricos	8
II.2 Antecedentes del petróleo en México	10
II.3 Antecedentes de la Refinería "18 de Marzo"	14
CAPITULO III	
ESTUDIO DE LA SITUACION ACTUAL Y PERSPECTIVAS EN LA REPUBLICA	18
III.1 Introducción: Centros de refinación en la República	18
III.2 Localización de la Refinería "18 de Marzo"	20
III.2.1 Antecedentes	20
III.2.2 Situación urbana actual	30
III.3 Instalaciones y funciones	31
III.3.1 Ductos de abastecimiento	33
III.3.2 Instalaciones de proceso	34
III.3.3 Servicios auxiliares (Sector 4)	35
III.3.4 Instalaciones de protección ambiental	36
III.3.5 Distribución y almacenamiento	37
III.3.6 Instalaciones diversas	38
III.3.7 Personal	40

	Página
III.3.8 Instalaciones sociales y recreativas	40
III.4 Area de influencia	40
III.5 Problemática	46
III.5.1 Riesgo de accidentes graves	46
III.5.2 Contaminación	50
III.5.3 Concentración industrial	53
III.5.4 Problemas varios	54
III.6 Futuro de la refinería	55
CAPITULO IV	
LOCALIZACIONES FACTIBLES	61
IV.1 Secuencia de las actividades desarrolladas	61
IV.2 Factores determinantes	63
IV.3 Determinación y análisis de las posibles localizaciones	65
IV.3.1 Determinación de las posibles localizaciones	65
IV.3.2 Interrelaciones de las posibles localizaciones	70
CAPITULO V	
TEORIA DE LA PROGRAMACION LINEAL	73
V.1 Introducción	73
V.2 Modelo matemático de programación lineal	74
V.3 Modelo gráfico para la solución de problemas de programación lineal	80
V.4 Método Simplex	83
V.4.1 Establecimiento del método Simplex	84
V.4.2 Resumen del método Simplex	89
V.4.3 Método del pivote	91
V.5 Complicaciones del método Simplex	92
V.5.1 Minimización	93
V.5.2 Desigualdades con signo invertido	93

	Página	
V.5.3	Valores negativos en bi	94
V.5.4	Igualdades en las restricciones	95
V.5.5	Variables no restringidas en signo	96
V.5.6	Empate para entrar a la base	97
V.5.7	Empate para dejar la base	97
V.5.8	Soluciones múltiples	98
V.5.9	Ausencia de soluciones factibles	100
V.5.10	Solución óptima sin límite	100
V.6	Ejemplos de aplicación del método Simplex	100
CAPITULO VI		
DESARROLLO DEL MODELO DE PROGRAMACION LINEAL		109
VI.1	Objetivos del modelo	109
VI.2	Construcción de la red	110
VI.3	Definición de variables y parámetros	112
VI.3.1	Volumen transportado	112
VI.3.2	Capacidad de transporte expandida	112
VI.3.3	Oferta de productos	113
VI.3.4	Demanda de productos	114
VI.3.5	Capacidad instalada	114
VI.3.6	Costo de instalación	115
VI.3.7	Costo de operación	117
VI.3.7.1	Costos de operación anual	117
VI.3.7.2	Costos de operación a valor presente	118
VI.4	La función objetivo y sus restricciones	120
VI.4.1	Restricciones	121
CAPITULO VII		
APLICACION DEL MODELO DE PROGRAMACION LINEAL		129
VII.1	Obtención de los valores de los parámetros	129
VII.1.1	Nodos, ramas, productos, horizontes, tipos y red	129

	Página
VII.1.2 Oferta por nodo, producto y horizonte	134
VII.1.3 Demanda por nodo, producto y horizonte	135
VII.1.4 Capacidad instalada inicial por rama	135
VII.1.5 Costos de instalación	136
VII.1.6 Costos de operación	142
VII.2 Aplicación del modelo	151
VII.3 Resultados obtenidos	153
CAPITULO VIII	
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	157
VIII.1 Análisis de los resultados y recomendaciones	157
VIII.2 Conclusiones	167
APENDICES	170
BIBLIOGRAFIA	246

INDICE DE TABLAS

	Página	
Tabla 3.1	Centros de refinación petrolera en México	18
Tabla 3.2	Capacidad instalada por refinería	20
Tabla 3.3	Productos distribuidos por la refinería	39
Tabla 4.1	Posibles localizaciones por área del país	66
Tabla 4.2	Posibles localizaciones por infraestructura	67
Tabla 4.3	Posibles localizaciones por energía eléctrica	68
Tabla 4.4	Posibles localizaciones por agua	69
Tabla 4.5	Posibles localizaciones por combustible	70
Tabla 5.1	Datos del problema 5.2.1	77
Tabla 5.2	Datos del problema 5.2.2	78
Tabla 5.3	Tableau general inicial del método del pivote	92
Tabla 7.1	Nodos del problema	130
Tabla 7.2	Ramas del problema	131
Tabla 7.3	Oferta por nodo, producto y horizonte	134
Tabla 7.4	Demanda por nodo, producto y horizonte	135
Tabla 7.5	Capacidad instalada inicial por rama	136
Tabla 7.6	Costo de adquisición e instalación de tubería	138
Tabla 7.7	Costo de adquisición e instalación de equipo de bombeo	140
Tabla 7.8	Costo de adquisición de terrenos y servicios auxiliares	141

	Página	
Tabla 7.9.1	Costos de instalación para líneas ti po 1	142
Tabla 7.9.2	Costos de instalación para líneas ti po 2	143
Tabla 7.10	Mantenimiento de línea	144
Tabla 7.11	Costos por consumo de energía	145
Tabla 7.12	Costos por refacciones y lubricantes	146
Tabla 7.13	Costos de mano de obra	147
Tabla 7.14.1	Costos de operación para líneas ti- po 1	148
Tabla 7.14.2	Costos de operación para líneas ti- po 2	149
Tabla 7.15	Costos de instalación y operación ti por rama y tipo de línea	151
Tabla 7.16	Resultados del primer horizonte	154
Tabla 7.17	Resultados del segundo horizonte	155
Tabla 7.18	Resultados del tercer horizonte	156

INDICE DE FIGURAS Y PLANOS

	Página	
Fig. 3.1	Localización de los centros de refinación	19
Fig. 3.2	Oleoductos	21
Fig. 3.3	Gasoductos	22
Fig. 3.4	Poliductos	23
Fig. 3.5 a 3.8	Crecimiento urbano de la ciudad de México	26 a 29
Fig. 3.9	Asentamientos y densidades poblacionales en el área circunvecina a la refinería	32
Fig. 3.10	Demanda esperada de petrolíferos en el área de influencia	42
Fig. 3.11	Demanda esperada de gasolina en el área de influencia	44
Fig. 3.12	Demanda esperada de diesel en el área de influencia	45
Fig. 3.13	Demanda esperada de turbosina en el área de influencia	47
Fig. 3.14	Demanda esperada de los demás petrolíferos en el área de influencia	48
Fig. 3.15	Áreas afectadas en caso de un accidente en la refinería "18 de Marzo"	51
Fig. 3.16	Alternativa 1	58
Fig. 3.17	Alternativa 2	59
Fig. 4.1	Posibles localizaciones e interrelaciones	72
Fig. 5.1	Método gráfico para la solución de problemas de programación lineal	82
Fig. 5.2	Soluciones múltiples	99

	Página	
Fig. 6.1	Red ejemplo	111
Fig. 6.2	Flujo en un nudo	122
Fig. 7.1	Red del problema	132
Fig. 8.1	Flujos de productos para el primer ho rizonte	158
Fig. 8.2	Capacidades del primer horizonte	159
Fig. 8.3	Flujos de productos para el segundo horizonte	161
Fig. 8.4	Capacidad del segundo horizonte	162
Fig. 8.5	Flujos de productos para el tercer ho rizonte	164
Fig. 8.6	Capacidades del tercer horizonte	166

CAPITULO I

INTRODUCCION

I.1 ORIGEN DE LA TESIS

Uno de los más serios problemas que enfrenta nuestro país es el de la concentración demográfica y económica en la ciudad de México. Este sobreagrupamiento poblacional distorsiona la demografía de todo nuestro país, ya que tan sólo en el 1% del territorio nacional se encuentran concentrados, aproximadamente, el 20% de sus habitantes.

Este desequilibrio nacional provoca que existan desigualdades sociales regionales, en vista de la falta de paralelismo en el desarrollo nacional debida a la dispar distribución de los recursos nacionales.

Por otro lado, se tiene que no sólo existe concentración demográfica en la ciudad de México, sino también una polarización económica, ya que en ésta se produce el 50% de la producción nacional de bienes y servicios.

Se puede afirmar, entonces, que las acciones tomadas en la ciudad de México, afectan directa o indirectamente al resto del país.

Aunado a estos problemas que genera al resto del país, la ciudad de México tiene grandes problemas y desigualdades internas. Se presentan en ella grandes deficiencias en infraestructura, vivienda, servicios básicos, agua, transporte público, etc. Asimismo, existe anarquía en el abasto de los productos básicos, lo que provoca su encarecimiento, así como una amenazante contaminación y una exagerada especulación en el uso del suelo, entre otros muchos problemas.

Como se puede observar, esta situación obliga a planear una reordenación de la zona metropolitana y una desconcentración de la actividad productiva a lo largo de toda la República.

Dentro de la ciudad de México se debe establecer un fuerte control sobre el uso del suelo, así como intensificar y eficientar el transporte público para desalentar el uso del privado. Mantener una oferta adecuada para las poblaciones existentes. Restringir el crecimiento urbano, reducir los subsidios a los servicios públicos, controlar la contaminación, promover la relocalización de grandes empresas contaminadoras y consumidoras de agua, entre otras muchas actividades por desarrollar.

En el resto del país, se debe planear un desarrollo regional equilibrado que permita determinar nuevas zonas de crecimiento urbano y productivo, en las cuales se debe programar la

infraestructura y servicios urbanos necesarios, racionalizando el uso del suelo.

Asimismo, conjunto a la desconcentración productiva a nuevas zonas urbanas, se debe promover la economía rural con los consecuentes beneficios para todos los sectores de la población.

Todo esto y mucho más se debe lograr con las restricciones macroeconómicas que la situación actual que vivimos nos impone. Debemos y podemos salir adelante. El hecho de que sean pocos o muchos los recursos con que cuente el país, no debe ser motivo ni justificación para dejar de programar y planear actividades que tiendan a mejorar las condiciones de vida de la población; la implantación de estas actividades se hará en la medida que nuestros recursos nos lo permitan.

1.2 OBJETIVO DE LA TESIS

Dadas todas estas circunstancias actuales de vida en la ciudad de México y en todo el país, se pretende en este estudio contribuir en alguna porción a mejorar las condiciones de vida de sus habitantes.

El gobierno por su parte ha elaborado un sinnúmero de programas. A últimas fechas, la Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología, ha puesto en marcha un programa de cien medidas,

que de alguna forma pretenden controlar la contaminación ambiental. Uno de los puntos centrales es el cierre de la refinería "18 de Marzo", localizada dentro del área urbana, precisamente en la delegación de Azcapotzalco; este cierre se ha proyectado a mediano plazo.

Tomando en cuenta lo anterior, se debe implementar un programa para que otro u otros centros de refinación produzcan los petrolíferos necesarios. Este programa contemplará que la refinería es hoy en día ya deficitaria en producción y que, mientras la demanda se incrementará, la capacidad de la refinería se debe ir reduciendo.

Con objeto de participar en este esfuerzo para mejorar las condiciones del área metropolitana y asimismo garantizar el abastecimiento de gasolina y demás petrolíferos en la misma, se desarrolla este estudio.

Se pretende llegar a determinar en este estudio, de una manera cuantitativa y óptima, la o las localizaciones y los tamaños de las instalaciones necesarias para poder garantizar la satisfacción de la demanda de petrolíferos en las áreas metropolitanas y circunvecinas.

I.3 ALCANCES DE LA TESIS

El estudio para determinar la localización óptima de unas instalaciones en particular, es un trabajo muy complejo y de tallado, ya que traspasa las barreras de muchas disciplinas; tan sólo en el área de ingeniería, intervienen ingenieros ci viles, mecánicos, electricistas, industriales, químicos, etc., así como profesionales de muchas otras disciplinas.

Por supuesto, no se pretende analizar el tema desde todos es tos puntos de vista, sino únicamente desde el de la Ingeniería Industrial.

Para el ingeniero industrial, la selección óptima de una planta es hoy en día fundamental para contribuir al éxito o al fracaso de la misma. Por esto, a últimas fechas se ha es tudiado intensa y profundamente este problema.

Estas investigaciones han traído diferentes sistemas y métodos, unos cuantitativos, otros cualitativos. En este estudio se empleará la programación lineal, un método cuantitati vo, como nuestro principal instrumento.

Por esto y para alcanzar los objetivos antes mencionados, se desarrollará un modelo de programación lineal que permita de terminar de una manera óptima y cuantitativa la o las locali zaciones de las instalaciones y los volúmenes que deben man jar.

Este modelo de programación lineal minimizará los costos de instalación y operación de las líneas de abastecimiento de gasolina y demás petrolíferos para la ciudad de México, permitiendo sustituir el volumen producido por la refinería "18 de Marzo".

Asimismo, se planteará la posibilidad de que, dada la inercia actual que existe por la desconcentración de las industrias del área metropolitana, este modelo sea aplicable a otros tipos de empresas que puedan en un futuro requerir ser relocalizadas, o también para aquellas que deseen determinar una localización óptima para sus instalaciones en base al criterio del costo mínimo.

CAPITULO II

ANTECEDENTES DEL PETROLEO

II.1 EN LA INDUSTRIA MUNDIAL

II.1.1 Generalidades del petróleo

La palabra petróleo viene del latín "petroleum", que se compone de "petra" que significa piedra y "oelum" que se traduce en aceite, de donde la palabra significa "aceite de piedra". Por otra parte, este producto también se denomina chapopote, concepto que se deriva de la palabra náhuatl "chapo-poctli", de "chihuatl", grasa y de "poctli", humo.

Se ha definido el petróleo como un compuesto de hidrocarburos o sea una combinación de carbono e hidrógeno. La mayoría de los investigadores consideran al petróleo como el producto de la descomposición de materias orgánicas que hace miles de años se acumularon en cuencas marinas o lacustres. Se cree que los terrenos en que se ha encontrado, no han estado nunca a una temperatura superior a 38°C.

"Se encuentra en el subsuelo, impregnado en formaciones de tipo arenoso o calcáreo, asume los tres estados físicos de la materia: sólido, líquido y gaseoso, según su composición

y la temperatura y presión a que se encuentre. Su color varía entre el ámbar y el negro; su densidad es menor que la del agua. En estado gaseoso es inodoro, incoloro e insípido, por lo que, como medida de seguridad, se le mezcla un mercaptano (compuesto sulfuroso) para descubrir su presencia y evitar intoxicaciones...". (1)

II.1.2 Antecedentes históricos

No se sabe con exactitud en qué época el hombre empleó el petróleo o chapopote por primera vez, ni el uso que le dio, aunque ello debió realizarlo hace muchos siglos. Las primeras noticias que se tienen aparecen en la Biblia, en donde se le denomina betún, o sea, mineral combustible. Los chinos fueron los primeros en utilizar el gas natural para alumbrado. Marco Polo (1254-1324) habla de su uso en Georgia, Rusia en el siglo XIII.

Amado Argand (1775-1803), físico matemático y químico italiano, inventará en "...1784 una lámpara de corriente de aire, con mecha hueca y redonda, protegida por un tubo cilíndrico de vidrio, que reducía notablemente los inconvenientes del humo. Antoine Lavoisier, empleado al servicio de Argand, hizo algunas modificaciones a la lámpara y le puso su nombre". (2)

Samuel M. Kier realizó el destilado del petróleo en un alam-

bique en 1850, con lo que se inició la refinación en América. Trabajos que continuó Benjamín Silliman Jr., quien siendo profesor de Yale College en 1855, concluyó el procedimiento sobre la refinación del petróleo, basado en la destilación fraccionaria, que es el método empleado aún en nuestros días.

Las primeras fuentes de abastecimiento de petróleo fueron las llamadas chapopoterías, donde el aceite llegaba a la superficie a través de las fracturas de las capas del subsuelo.

"El residuo de la destilación sustituyó con ventaja al carbón en las calderas de las locomotoras, por lo que a fines del siglo XIX, se empleaba como único combustible en la mayoría de los ferrocarriles americanos..." (3)

El incremento en la producción motivó que a partir de 1860 se perfeccionara y extendiera el uso de la lámpara de petróleo, se inventaron las primeras cocinas para ese producto y también la calefacción central de petróleo flamigero.

"Es entonces cuando, en 1870, un tal John D. Rockefeller se asocia con algunos personajes borrosos para fundar la 'Standard Oil Company of Ohio'. Su idea primordial es ofrecer al público productos de calidad. Rockefeller es, probablemente, el más grande de los aventureros del petróleo... Su ética cabe en una palabra: eficiencia". (4)

Mientras tanto en Alemania, Karl Benz (1844-1929), gran ingeniero mecánico e inventor, comenzó en su tierra natal a diseñar y armar en 1877 un motor de dos velocidades, para en 1886 construir el primer automóvil impulsado con motor de gasolina. (5) Había inventado la máquina que consumiría la mayor parte del combustible. Por su parte, Henry Ford (1863-1947) construía en 1892 su primer automóvil de gasolina, para fundar en 1902 la Ford Motor Company.

Desde principios del presente siglo y en forma muy particular después de la primera guerra mundial, "en las causas o en el desarrollo de casi todos los conflictos se encuentra el petróleo. Porque el petróleo es la sangre de nuestra civilización ya que casi 300,000 productos diversos se sacan del petróleo..." (6) Podemos concluir que aunque el petróleo ha traído grandes beneficios a la humanidad, también ha sido la causa de algunos males.

II.2 ANTECEDENTES DEL PETROLEO EN MEXICO

En el Estado de Veracruz y especialmente en lo que ahora es la región de Papantla, los antiguos totonacas recogían el "chapopote" o "chapapote" de la superficie de los charcos utilizándolo para combatir algunas enfermedades y para quemarlo ante sus deidades. También lo usaban los prehispánicos para iluminar y como pegamento e impermeabilizante en

sus construcciones, usos que continuó dándosele al chapopote durante la Colonia.

En 1880 se comienza a construir una pequeña refinería en el puerto de Veracruz, para procesar el petróleo. Dicha planta se terminó hasta 1886 y se le puso por nombre "El Aguila". El doctor Adolph Autrey, en 1882 refinaba el petróleo en Papantla, Veracruz, por medio de un alambique, elaborando un producto de muy buena calidad, destinado a la iluminación.

Un año después, en 1883, el doctor Simón Sarlat Nova hizo la denuncia de la Chapopotera de Gil y Sáenz, para iniciar en Tabasco la perforación.

Por otra parte, se ha dicho que en "La hacienda El Tulillo", en el municipio de El Ebano, S. L. P., fue el escenario en el que principió verdaderamente la historia del petróleo en México". (7) En otras partes de la República se hacía necesario incrementar la producción petrolera y la refinación, por lo que en 1905 se iniciaron los trabajos para construir en Minatitlán, Veracruz, una planta que se inauguró un año después.

Durante la lucha armada de la Revolución de 1910, las actividades petroleras no se vieron afectadas, es más, la producción superó a la demanda, por lo que la Huasteca Petroleum Company exportó a Sabinas, Texas, 30,262 barriles.

Se continuaron las perforaciones, se incrementó la producción a grado tal que en 1921 México ocupó el segundo lugar como productor mundial, con 193,397,586 barriles anuales, lo que hizo que las compañías internacionales se creyeran un estado dentro del Estado mexicano. La importancia de la producción mundial de petróleo da pauta para decir que las compañías presionan a los gobiernos de los países en que se localiza ese recurso.

En 1917, el presidente Carranza hace votar una nueva constitución, liberal y bastante social que, además, tiene la audacia de afirmar los derechos imprescriptibles del Estado mexicano sobre su propio subsuelo. Posteriormente, el presidente Calles exige que las grandes compañías permuten sus títulos de propiedad con arriendos de cincuenta años. Las compañías se niegan; los Estados Unidos tienen que elegir: mandar tropas o negociar. Se negocia.

Al poco tiempo, el general Calles funda una compañía de Estado, la "Petromex" que, sin complejos, empieza a reivindicar un yacimiento al sur de Veracruz, que ya se disputan la Standard americana y la Mexican Eagle inglesa. Se cree acertadamente que no está lejos una sublevación militar. En efecto, estalla, no da resultado, y todos, mexicanos, ingleses y americanos se hunden un poco más, unos en el odio y otros en la incapacidad. Las diferencias aumentan hasta 1934.

Una estadística de la época revela que los 17 millones de habitantes que tiene México poseen menos capitales en su propio país que los 160,000 extranjeros que viven en él, y viven bien. El 79% de sus capitales están invertidos en el petróleo.

Otra cifra significativa: el 50% del petróleo de origen mexicano es de los americanos; un 45% es inglés y el 5% restante es nacional. Otra: la Mexican Eagle vende a México su propio petróleo de 10 a 300 veces más caro que en el extranjero.

Un huracán revolucionario empieza a soplar sobre México, desde los intelectuales hasta los campesinos. Es entonces cuando llega al poder el general Lázaro Cárdenas; este parcela las grandes propiedades que redistribuye entre los campesinos, y nacionaliza las grandes empresas. El 18 de marzo de 1938, les toca a las compañías petroleras.

A través de sabotajes, atentados, asesinatos, calumnias, PEMEX, "Sociedad Nacional de Petróleos Mexicanos (sic), se desarrolla. Explota ya todo el petróleo nacional, adquiere una flota de petroleros, vende al extranjero. Fija sus precios que son, para el consumo interior, la mitad de los practicados en los Estados Unidos". (8)

Algunos investigadores extranjeros ven nuestra lucha armada en relación directa con la lucha por el control del petró-

leo, lo cual no es tan simplista como tratan de plantearlo, pues si el petróleo influyó en las contiendas, mucho más lo hicieron las reivindicaciones sociales, en especial los derechos de los obreros y de los campesinos. No se tiene la intención de extenderse en este aspecto histórico, se pasa al siguiente punto.

II.3 ANTECEDENTES DE LA REFINERIA "10 DE MARZO"

Al iniciarse la explotación petrolera en México, las refineries de petróleo se fueron estableciendo en los campos productores de petróleo en el país, principalmente en el Golfo de México, de donde se distribuían los destilados hacia la ciudad de México y el Altiplano de la República por medio de ferrocarril.

Para el año de 1930, las refineries existentes se encontraban localizadas en Tampico, Tamaulipas y Minatitlán, Veracruz. Y debido al incremento de la demanda del centro del país, se hizo necesario establecer una refineria, así pues, en ese mismo año se inició la construcción de la Refinería Azcapotzalco en las inmediaciones de la ciudad de México.

Considerando el aumento de consumo de combustible de la zona central, éste se vio obligado a satisfacer por medio de autotanques desde las refineries, hasta el año de 1933, en el

cual se terminó la construcción de la propia refinería. En primera instancia, entró en operación con capacidad de 7,500 BD, siendo abastecida de crudo de los campos de Faja de Oro y Poza Rica.

En el año de 1936, la compañía concesionaria "El Aguila" incrementó la capacidad de 12,500 BD, con la adición de nuevas instalaciones, pero siguió recibiendo el crudo de las zonas productoras del Golfo de México a través de un oleoducto.

En 1938, el 18 de marzo, se decreta la Expropiación Petrolera. Debido a este acontecimiento, la Refinería de Azcapotzalco pasa a ser propiedad de la nación, y se le da el nombre conmemorativo de "Refinería 18 de Marzo".

Ante el desarrollo industrial que provoca la segunda guerra mundial, se presenta la necesidad de incrementar la capacidad de la refinería, la cual para el año de 1945 fue modernizada completamente, siendo prácticamente desmanteladas las instalaciones y reconstruidas posteriormente, con una capacidad de 40,000 BD.

Sin embargo, esta ampliación poco tiempo satisfizo la creciente demanda del altiplano. Debido a que la necesidad de los productos era muy amplia y muy extensa, se planteó la construcción de una nueva refinería, la cual compartiera la

responsabilidad de satisfacer la demanda. Esta refinería se terminó de construir y entró en operaciones en Salamanca, Guanajuato, en el año de 1950.

Aun cuando las contribuciones de la Refinería de Salamanca fueron muy importantes, se creó una nueva demanda de productos con especificaciones más estrictas, como eran las que se requerían para la aviación, el transporte terrestre y la creciente planta industrial. Esto llevó a imponer una nueva re modelación.

Entre 1958 y 1959 se terminaron las instalaciones con las que se introducían procesos secundarios, y se incrementaron las instalaciones de almacenamiento y servicios auxiliares. En 1959 se concluyó también la ampliación de la planta de al quilación, así como una planta elaboradora de dodecibenceno.

Para este momento, la refinería se encontraba circundada por zonas urbanas, por lo cual se decidió no adicionar ningún nuevo proyecto, solamente se trataría de optimizar los ya existentes y se seguiría aumentando la capacidad de almacena miento para poder satisfacer la creciente demanda metropolitana.

En 1963 fue inaugurado el poliducto que conectaba con la refinería de Minatitlán, con el objeto de recibir productos

terminados para poder satisfacer la demanda. En 1972, con objeto de seguir satisfaciendo la demanda de la zona central, se empezaron a recibir gasolinas terminadas por el poliducto Tuxpan-México, las cuales provenían de barcos que descargan en Barra de Tuxpan. Aprovechando las líneas existentes, se puso en marcha el poliducto provisional Salamanca-México, en 1974. Por este poliducto se recibían productos intermedios y terminados de la Refinería de Salamanca.

Con el fin de aliviar la situación cada vez más crítica de abasto del Valle de México, se inició la construcción de una nueva refinería en 1972, la que se localiza en Tula, Hidalgo. Para el año de 1976 se terminó la primera etapa y entró en operación, convirtiéndose en un aportador más del centro de distribución localizado en la refinería "18 de Marzo". Esta primera etapa empezó a funcionar ese mismo año, recibándose productos intermedios y terminados. Más tarde, en 1978, entró en operación la estación de rebombec del poliducto Tula-México-Tuxpan, con una capacidad de 100,000 BD y con dos estaciones de bombeo.

Hoy en día, la refinería "18 de Marzo" es la más chica del país, en extensión, pero dada su localización geográfica, se ha convertido en el mayor centro de distribución de la nación.

CAPITULO III

ESTUDIO DE LA SITUACION ACTUAL Y PERSPECTIVAS
DE LA REFINERIA "18 DE MARZO"III.1 INTRODUCCION: CENTROS DE REFINACION
EN LA REPUBLICA

En la actualidad, el sistema nacional de refinación de petróleo cuenta con nueve centros, los cuales se mencionan a continuación:

<u>Refinería</u>	<u>Localización</u>
18 de Marzo	Azcapotzalco, D. F.
Francisco I. Madero	Cd. Madero, Tamps.
Lázaro Cárdenas	Minatitlán, Ver.
Antonio M. Amor	Salamanca, Gto.
Miguel Hidalgo	Tula, Hgo.
Cadereyta	Cadereyta, N. L.
Salina Cruz	Salina Cruz, Oax.
Poza Rica	Poza Rica, Ver.
Reynosa	Reynosa, Tamps.

TABLA 3.1

En el plano 3.1 se muestra su localización geográfica y a continuación se muestra la tabla 3.1 con las capacidades instaladas de cada refinería.



FIG. 3.1 CENTROS DE REFINACION

Junto al plano de la localización de los centros de refinación, se anexan los planos que presentan las instalaciones de oleoductos (3.2), de gasoductos (3.3) y de poliductos (3.4) a lo largo de toda la república. (9)

CAPACIDAD INSTALADA POR REFINERIA
1980 - 1984
(MSD)

Refinería	1980		1982		1984	
	Capa cidad	%	Capa cidad	%	Capa cidad	%
TOTAL	1476.0	100%	1620.5	100%	1678.5	100%
Azacapotzalco	100.0	7.1%	100.0	6.5%	100.0	6.3%
Madero	185.0	12.5%	186.0	11.5%	196.0	11.7%
Minatitlán	290.0	19.6%	290.0	17.9%	270.0	16.1%
Poza Rica	38.0	2.6%	38.0	2.3%	72.0	4.3%
Reynosa	20.5	1.4%	20.5	1.3%	20.5	1.2%
Salamanca	200.0	13.6%	200.0	13.1%	235.0	14.0%
Tula	150.0	10.2%	150.0	9.2%	155.0	9.2%
Cadereyta	235.0	15.9%	235.0	14.5%	235.0	14.0%
Salina Cruz	170.0	11.5%	170.0	10.5%	165.0	9.8%

TABLA 3.2

III.2 LOCALIZACION DE LA REFINERIA "18 DE MARZO"

III.2.1 Antecedentes

Pocos años después de su fundación en 1321, México-Tenochti-



Fig. 3.2 OLEODUCTOS



FIG. 3.3 GASODUCTOS

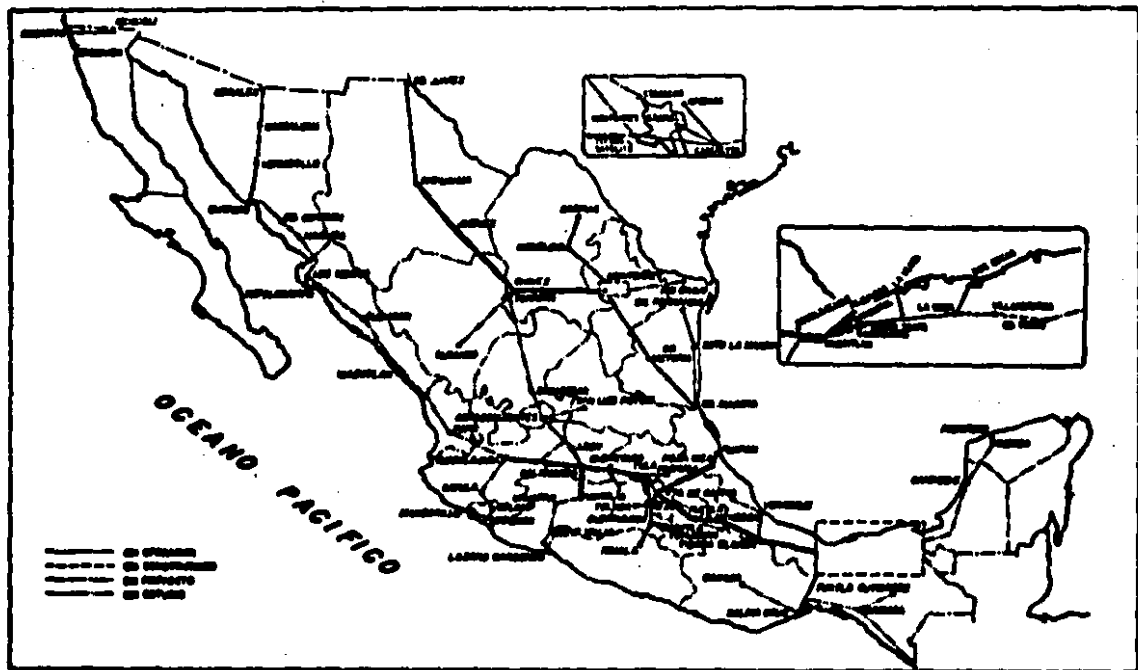


FIG. 3.4 POLIDUCTOS

tlán, se fue convirtiendo en el centro político, económico y sociocultural de la cuenca de México.

Desde la conquista mexicana en 1427 de la ciudad Tapaneca de Azcapotzalco, ésta se convirtió en área de influencia mexicana.

A la llegada del invasor europeo en 1519, México-Tenochtitlán era la ciudad más bella y grande que conocieron y fue destruida en 1521, perdiendo casi todas sus características prehispánicas para ir adoptando las europeas.

Los poderes de los aztecas, de los conquistadores-colonizadores y del México independiente, generalmente han estado en lo que ahora se llama Distrito Federal.

El crecimiento de la ciudad no siempre se ha efectuado previendo los requerimientos y necesidades de la población cada día mayor, como han sido, energía eléctrica, agua, transporte, seguridad, etc.

En el presente siglo la explosión demográfica del Distrito Federal y ciudades colindantes, principalmente las del Estado de México, ha desequilibrado cualquier sana política urbanística que se deseara seguir y así vemos que en 1921 la ciudad de México no llegaba al medio millón de habitantes y ocupaba una superficie de poco menos de 50 km², para transfor-

marse en una de las más grandes y pobladas del mundo. En el último censo, el de 1980, se dan las siguientes cifras: contaba con 14'633,000 habitantes y la superficie ocupada era de alrededor de 1,000 km². Actualmente, se estiman estas cantidades en aproximadamente 18 millones y 1,479 km². En estas últimas cantidades de habitantes y superficie no sólo se incluye el Distrito Federal, sino a 17 municipios conurbados del Estado de México.

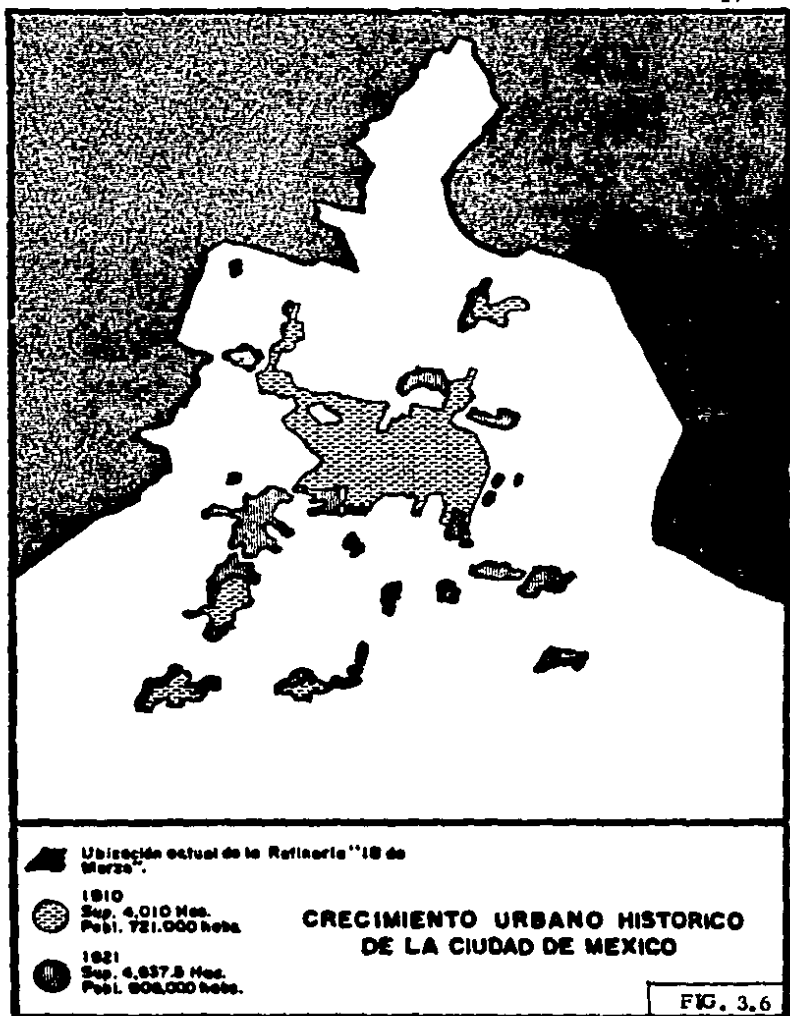
Este cambio poblacional fue requiriendo que a la cada vez más grande urbe se le fuera dotando de la infraestructura necesaria para la satisfacción de sus necesidades. Y así fue que en 1930 se iniciaron los trabajos para construir la refinería de Azcapotzalco, que se ubicó en áreas totalmente deshabitadas de la periferia de la ciudad, habiendo iniciado su operación en 1933.

En los años cuarenta, ante la necesidad de derivados del petróleo, la refinería de Azcapotzalco amplió sus instalaciones hacia el sur, al mismo tiempo que el crecimiento urbano la iba circundando. Entre 1950 y 1960, desaparecieron las áreas verdes que la enmarcaban y fueron destinadas a usos habitacionales e industriales.

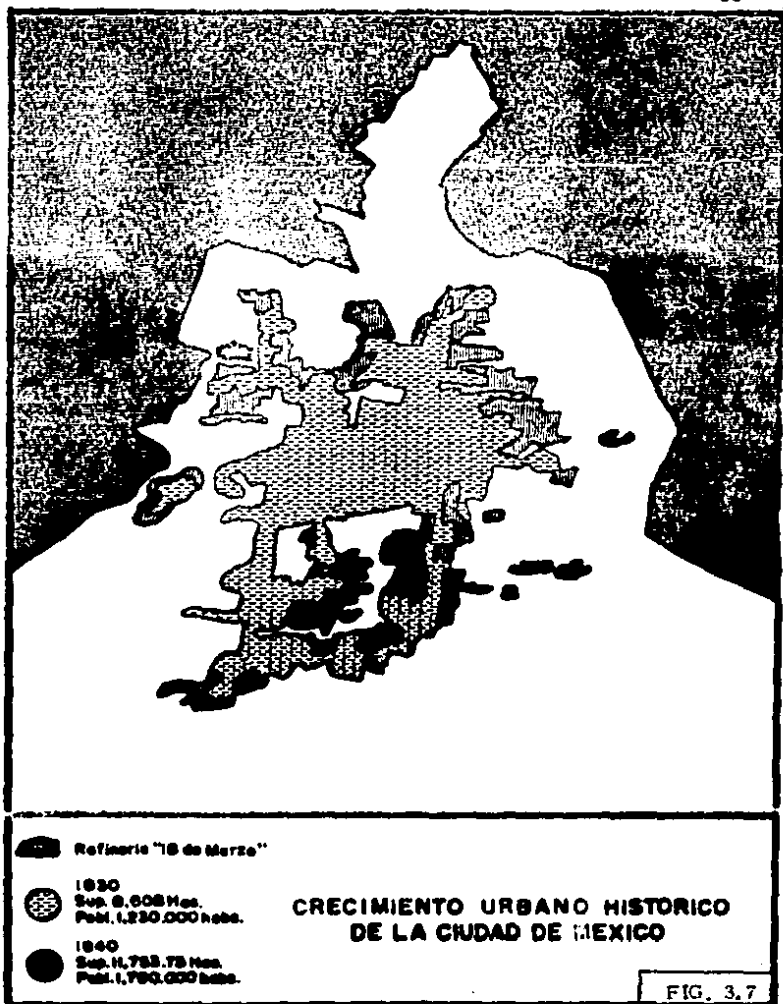
A continuación se presenta una serie de figuras (3.5 a 3.8) que muestran el crecimiento urbano de la ciudad de México,



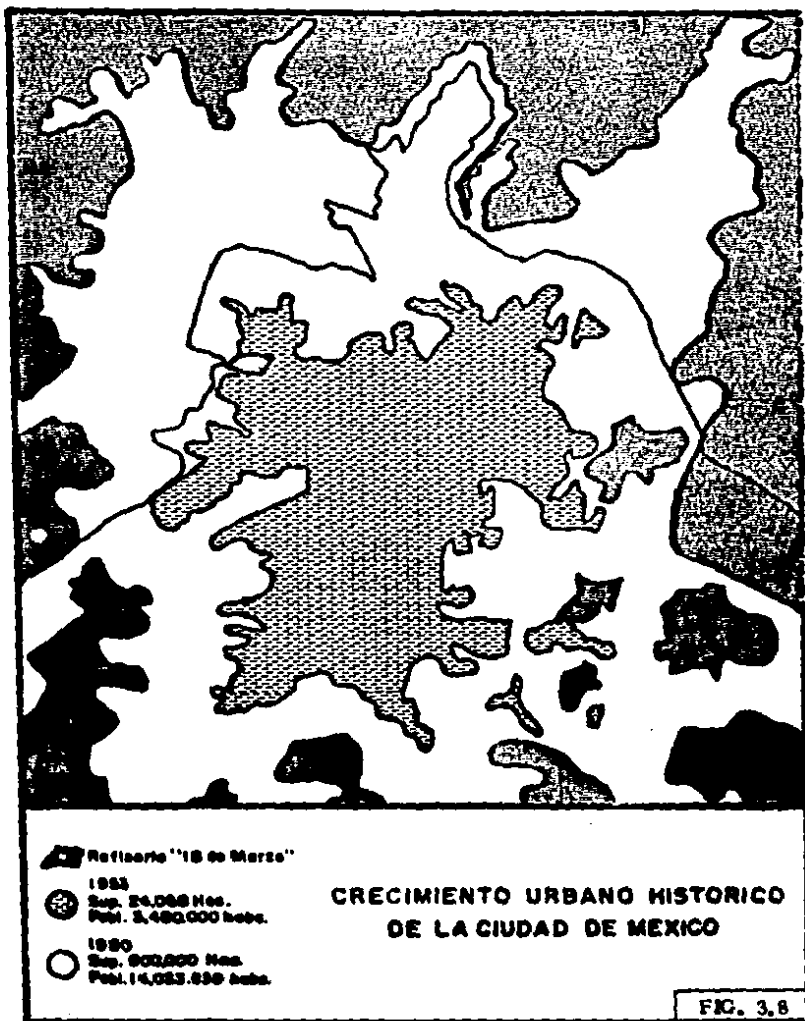
Fuente de información: Atlas de la Ciudad de México. PICVATEC. D. D. F. 1981.



Fuente de Informes: Atlas de la Ciudad de México. PICVATEC D.D.F. 1981



Fuente de Información: Atlas de la Ciudad de México. PICYCATEC S. R. L. 1961.



Fuente de información: Atlas de la Ciudad de México. PICYCATEC S.D.F. 1981.

así como la localización de la refinería "18 de Marzo".

III.2.2 Situación urbana actual

En gran parte del Distrito Federal se han venido deteriorando progresivamente las condiciones ambientales, en especial en los últimos 25 años.

No sólo la extensión de las áreas verdes se ha visto disminuida, sino también su eficacia en virtud de que el gran número de contaminantes, que las industrias, talleres y el uso de automóviles y camiones producen, la alteran.

En cuanto a la zona de la delegación de Azcapotzalco, se ha ido incrementando su población en forma importante, por lo que su densidad actual varía entre 201 a 450 hab/ha, con densidad media y 451 a 800 hab/ha, con densidad alta. Lo mismo ha sucedido con la intensidad del uso del suelo con el siguiente rango: de 1.5 a 3.5 veces el área del terreno.

Los servicios se han incrementado, especialmente en la zona de Tacuba y Popotla; la falta de espacios abiertos es notoria en esta zona al haberse roto el equilibrio de estos con los demás usos, por lo que se requiere un programa de desarrollo que estimule su creación.

Al extremo sur de la refinería se localizan asentamientos de un estrato social bajo, por lo que la vivienda carece en general de un adecuado mantenimiento. Junto a estos asentamientos se localiza también el área de panteones formada por los panteones Español y Alemán. En las áreas de vivienda, se ha ido incrementando paulatinamente la población, por lo que se tiene actualmente una densidad media, esto es en un rango de 201 a 450 hab/ha.

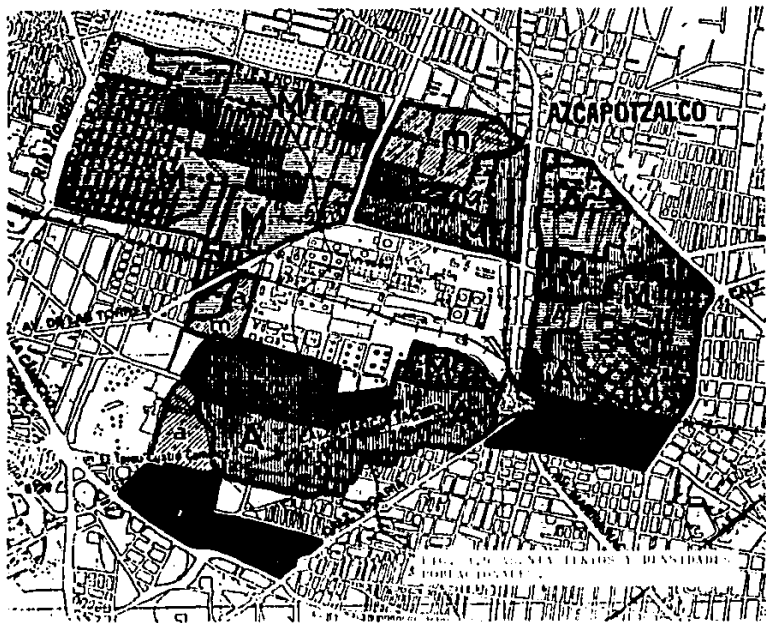
Al extremo oriente de la refinería se localizan áreas de vivienda, y de usos mixtos con una densidad que varía de media (201 a 450 hab/ha) donde cada vez se crean y requieren mayores servicios.

Es importante hacer notar que al extremo poniente de la refinería existe un grupo de industrias vecinas de mediana importancia, con una intensidad de uso alta. En ella se localiza una distribuidora de gas con un uso calificado como riesgoso.

En la figura 3.9 se muestran los tipos de asentamientos y densidades que rodean a la refinería (Proyecto de integración Refinería "18 de Marzo", 1985). (10)

III.3 INSTALACIONES Y FUNCIONES

Como ya se mencionó, la refinería 18 de Marzo tiene actual-




USOS DEL SUELO

 HABITACIONAL


 SERVICIOS


 INDUSTRIA


 U. MIXTOS


 ESPACIOS
ABiertos

DENSIDAD

 MEDIA
201-450 Hab/Ha.

 ALTA
451-800 Hab/Ha

 MEDIA
1.5-3.5 VECES EL
AREA DEL TERRENO

 ALTA
3.5-10 VECES EL
AREA DEL TERRENO

mente una importancia vital y estratégica para el desarrollo de la vida socioeconómica del Distrito Federal y sus alrededores, ya que es el centro de distribución de energéticos que cubre toda esta zona. Actualmente ocupa una superficie de 174 hectáreas y sus instalaciones tiene un valor de rescate de 150 mil millones de pesos (valor a mediados de 1985, aproximadamente 500 millones de dólares).

Con el objeto de hacer un estudio general de la situación actual de la refinería, se dividirá en ocho partes:

1. Ductos de abastecimiento (recibo)
2. Instalaciones de proceso
3. Servicios auxiliares
4. Instalaciones de protección ambiental
5. Distribución y almacenamiento de productos
6. Instalaciones diversas
7. Personal
8. Instalaciones sociales y recreativas

III.3.1 Ductos de abastecimiento

a) OLEODUCTO. El petróleo crudo procedente de los yacimientos del sur del Estado de Veracruz, de Tabasco y Chiapas, es mezclado con crudo de los campos de Poza Rica. La mezcla es bombeada hacia esta refinería por un oleoducto.

b) GASODUCTO. Ciudad Pemex-Minatitlán-México-Guadalajara. Para el consumo interno de la refinería, se recibe gas natural a través de este ramal.

c) POLIDUCTOS. Son los siguientes:

- (1) Minatitlán-México. Transporta productos terminados o semiterminados que provienen de la refinería "Lázaro Cárdenas", localizada en Minatitlán, Ver.
- (2) Tula-México. Transporta productos terminados o semiterminados que provienen de la refinería "Miguel Hidalgo", localizada en Tula, Hidalgo.
- (3) Tuxpan-Poza Rica-México. Transporta gasolinas de traspaso y diesel que se elaboran en Minatitlán o Ciudad Madero y que, por medio de buques, se transportan a Tuxpan y se descargan en la barra, para después bombearlo a la refinería de Azcapotzalco.

III.3.2 Instalaciones de proceso

Las instalaciones de proceso son todas las plantas que se encuentran en la refinería 18 de Marzo. Estas plantas están subdivididas en tres sectores:

Sector 1 - Destilación y tratamiento

Sector 2 - Conversión No. 1

Sector 3 - Conversión No. 2

SECTOR 1 - DESTILACION Y TRATAMIENTO

Planta de destilación primaria 1

Planta de destilación primaria 2

Plantas Perco - desulfurizadoras de gasolina 1 y 2

Plantas fraccionadoras de gasolina y gas

Planta de tratamiento de turbosinas

SECTOR 2 - CONVERSION 1

Planta reductora de viscosidad

Planta de alquilación

Planta de dodecibenceno (Petroquímica)

SECTOR 3 - CONVERSION 2

Planta de destilación al vacío (Preparadora de carga)

Planta de desintegración catalítica

Planta recuperadora de azufre

Planta de polimerización (Petroquímica)

III.3.3 Servicios auxiliares (Sector 4)

Se consideran como servicios auxiliares a aquellas instalaciones que son necesarias para el funcionamiento eficiente y seguro de todas las plantas de proceso y demás facilida-

des dentro de la refinería.

Los servicios auxiliares van a desarrollar un número de insumos que son necesarios para el funcionamiento de la refinería; estos se enlistan a continuación:

- Energía eléctrica
- Vapor a diferentes presiones
- Agua de enfriamiento
- Aire comprimido
- Agua de servicio
- Agua potable

Todos estos servicios son de uso exclusivo de la refinería. Además, la refinería es totalmente autosuficiente en todos ellos, lo que le da un mayor control sobre los mismos.

III.3.4 Instalaciones de protección ambiental

A fin de atender la reglamentación de las leyes federales relativas a la prevención y control de la contaminación ambiental, se desarrollan diversas actividades para el registro y control en los siguientes campos:

- Humos
- Polvos

- Monóxido de carbono
- Agua

III.3.5 Distribución y almacenamiento

DISTRIBUCION DE PRODUCTOS

El sistema de distribución funciona a base de terminales satélite, a las cuales se les abastecen los productos desde la refinera por medio de ductos y posteriormente son embarcados en autos-tanque para entregarlos en las zonas adyacentes a estas terminales.

Existen en la actualidad cuatro terminales de distribución, de las cuales tres son para gasolina y diesel, y una es para distribuir gas. Además, existen otros ductos que van directamente a su objetivo final. A continuación se enlistan.

- Terminal Satélite Oriente (Añil)
- Terminal Satélite Poniente (Barranca del Muerto)
- Terminal Azcapotzalco

DUCTOS DIRECTOS

Los siguientes son una serie de ductos que salen de la refinera y van directamente a su destino final sin pasar por terminales.

Turbosinoducto
Combustoleoducto
Ducto a Noncalco
Ducto a la compañía de luz
Ducto Terminal de Azcapotzalco

En la página siguiente se presenta una lista de los productos que fueron distribuidos por esta refinería en 1984.

ALMACENAMIENTO DE PRODUCTOS

El almacenamiento de los productos se lleva a cabo en la refinería, en tanques. Estos tanques van a tener diferentes formas y características dependientes del producto que almacenen.

Esta función se cubre mediante 183 tanques de almacenamiento de crudo, productos intermedios y finales, que totalizan un volumen de 3.7 millones de barriles.

III.3.6 Instalaciones diversas

En las instalaciones diversas están comprendidas las instalaciones de mantenimiento, almacén, contra-incendio, bodega de seguridad y vigilancia.

PETROLIFEROS	CANTIDAD (MBD)
LPG	1,610
Gasavión	1,190
Gasolvente	270
Gasnafta	1,235
Gasolina incolora	254
Gasolina Nova	94,415
Gasolina Extra	316
Turbosina	10,262
Diáfano	6,898
Diesel Nacional	16,827
Diesel Especial	18,586
Combustóleo	28,669
TOTAL	180,532
PETROQUIMICOS	CANTIDAD (TD)
Dodecibenceno	86
Tetramero	46
Azufre	13
TOTAL	145

TABLA 3.3

III.3.7 Personal

Con el objeto de cumplir con todas las actividades que se desarrollan dentro de la refinería, se cuenta con 2,273 trabajadores contratados en forma definitiva. Dentro de estos se comprende a todos los trabajadores de las plantas de operación, de talleres, de servicios auxiliares, de vigilancia, de seguridad, de oficina, etc.

III.3.8 Instalaciones sociales y recreativas

Para poder cumplir con los requerimientos que presenta la refinería, debido a que trabaja en forma continua, es necesario que exista un grupo de técnicos de planta; por esta razón se tiene un área habitacional con 38 casas.

Por otro lado, se tienen áreas para oficinas y ventas, así como recreativas, deportivas y culturales.

III.4 AREA DE INFLUENCIA

Como ya se ha mencionado, la refinería "18 de Marzo" está ubicada en el centro de gravedad de la zona de mayor demanda de energéticos en el país. Su área de influencia es variable y abarca aproximadamente el 3% del área de la república,

sin embargo, en ella existe el 15% del consumo nacional de petrolíferos.

El área de influencia de la refinería cubre al Distrito Federal, y parte del Estado de México y se extiende a algunos lugares de Hidalgo, Michoacán, Guerrero y Puebla.

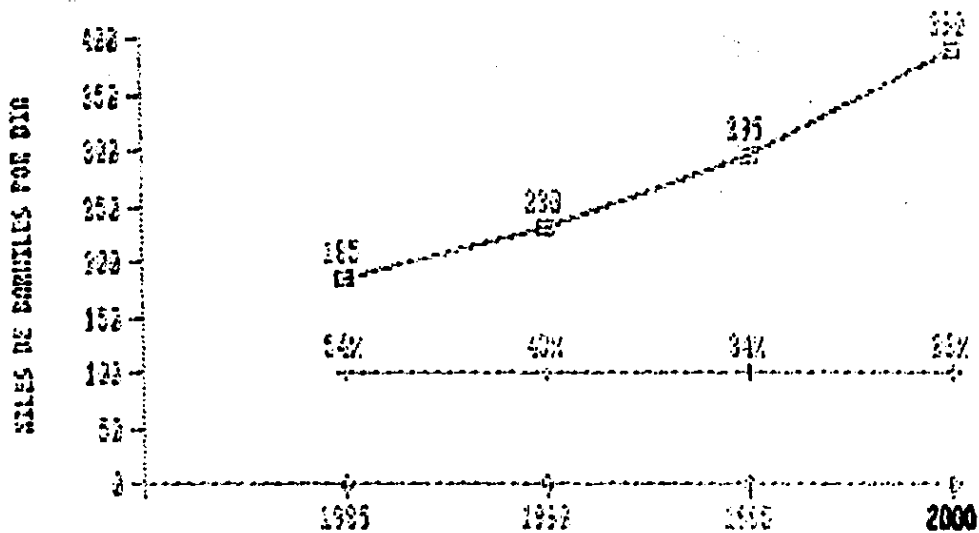
La refinería de Azcapotzalco cubrió en 1985 el 54% de la demanda de petrolíferos en su área de influencia, y para cubrir el 46% restante, recibió productos de Tula y del Golfo.

Como puede verse en la gráfica anexa (figura 3.10), la capacidad de producción de la refinería es de 100,000 BD de petrolíferos, en tanto que la demanda de su zona de influencia fue en 1985 de 185,000 BD y se espera que crecerá para 1990 a 230,000 BD, y para el año 2000 a 390,000 BD.

Esta diferencia entre la demanda y la producción de la refinería tendrá que provenir de un nuevo centro de refinación, ya que para el año 2000 sólo cubrirá el 26% de su demanda.

Asimismo, se estima que para el año 2000 se requerirán dos centros de refinación más en la república para satisfacer la creciente demanda nacional, uno de los cuales está ya en proyecto en Lázaro Cárdenas, Michoacán.

DEMANDA ESPERADA DE PETRÓLILOS
EN EL ÁREA DE INSURENCIA



□ DEMANDA ESPERADA ○ CAP. %

FIG. 3.10

En base a la información presentada en el inciso anterior se puede concluir que aproximadamente el 85% de la demanda de petrolíferos en el área de influencia de la refinería de Azcapotzalco en 1985, está cubierta por los siguientes productos:

1. Gasolina	52.5%
2. Diesel	19.6%
3. Turbosina	5.7%
4. Otros	7.3%

De tal forma que se basa el análisis solamente considerando estos mismos. A continuación se presentan unas gráficas de las demandas esperadas para cada producto (3.11 a 3.14).

Por otro lado se tiene que los centros de oferta que intervienen en el área son básicamente tres: Azcapotzalco, Tula y El Golfo, de los cuales el Golfo requerirá dedicar su producción a otras áreas de la república que también tienen demandas crecientes y ofertas estables.

Por otra parte, la refinería de Tula contempla un programa de expansión para abastecer su zona natural de influencia y no para surtir a la de la refinería de Azcapotzalco, de tal forma que se puede considerar que en cuanto al área de in-

DEMANDA ESTIMADA DE GASOLINA
EN EL AREA DE INFLUENCIA

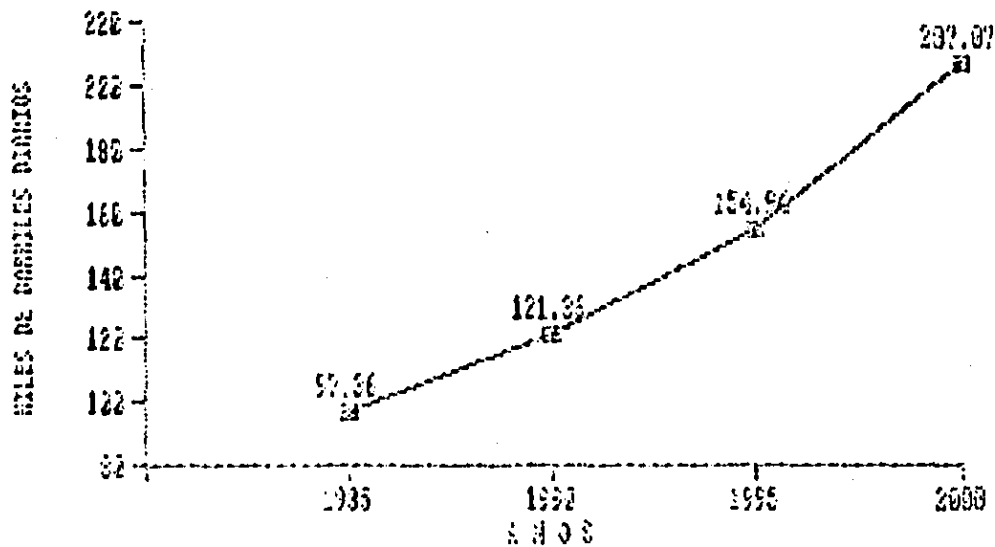


FIG. 3.11

DEMANDA ESPERADA DE DIESEL
EN EL AREA DE INFLUENCIA

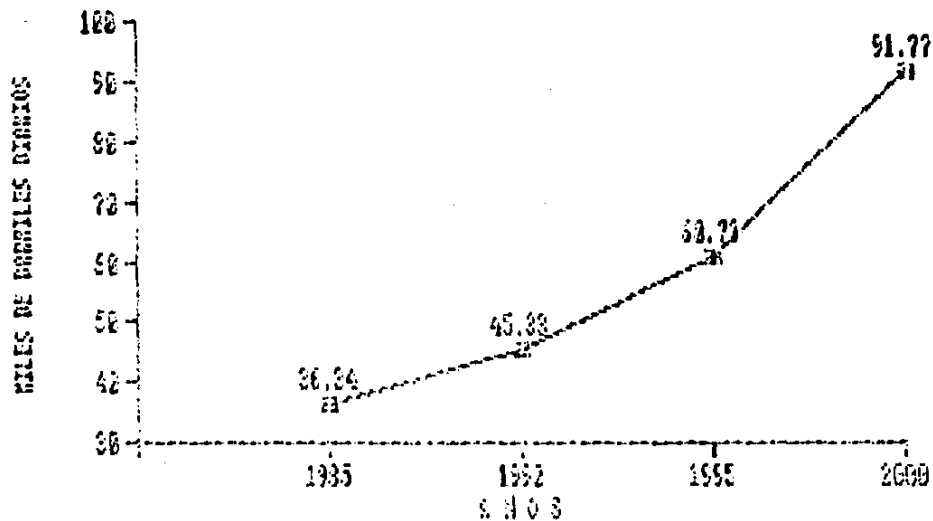


FIG. 3.12

fluencia del centro de la nación, no contempla ninguna expansión.

Por último, la refinería de Azcapotzalco se enfrenta a un programa que pretende terminar de emplear sus instalaciones de refinación a un mediano plazo. Por lo tanto, se considera que a partir del año de 1995 sólo se refinan aquellos petroliíferos que las nuevas instalaciones no puedan surtir y que para el año 2000 ya no se usen las instalaciones más que en casos de extrema emergencia. Aunque este programa no es definitivo, se considera en nuestro análisis.

III.5 PROBLEMÁTICA

El objetivo de este estudio se fundamenta en la necesidad imperante de suspender las actividades en la refinería "18 de Marzo". Se debe aclarar que al utilizar la palabra "suspender", no se refiere al cierre completo de las instalaciones, sino solamente al de aquellas que sean parte de la problemática que a continuación se presentan.

III.5.1 Riesgo de accidentes graves

En primer término, se encontró el riesgo que presenta la posibilidad de que suceda un accidente de consecuencias graves para la población circunvecina. Este punto ha aumentado

DEMANDA OPERATIVA DE COMIDAS EN
EL EJERCITO DE FUERZAS

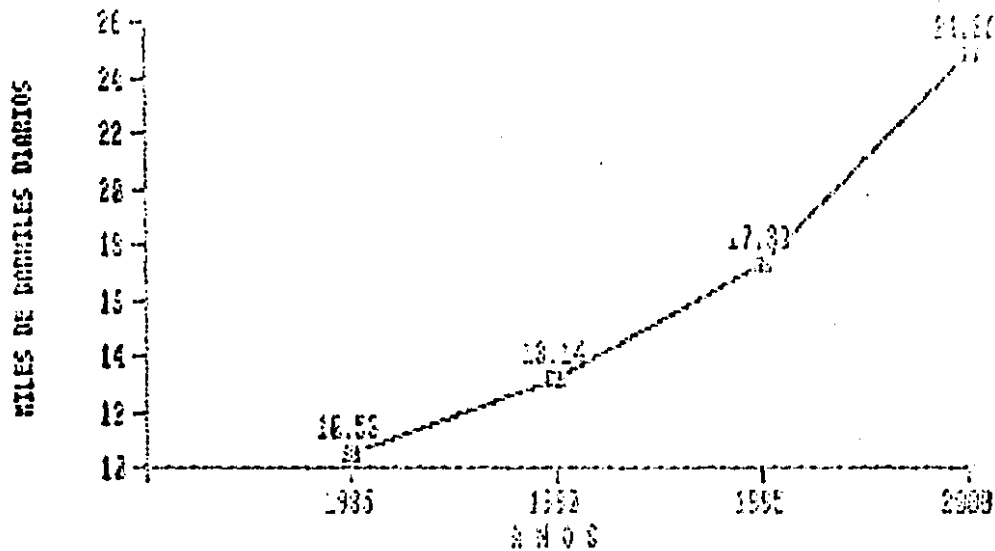
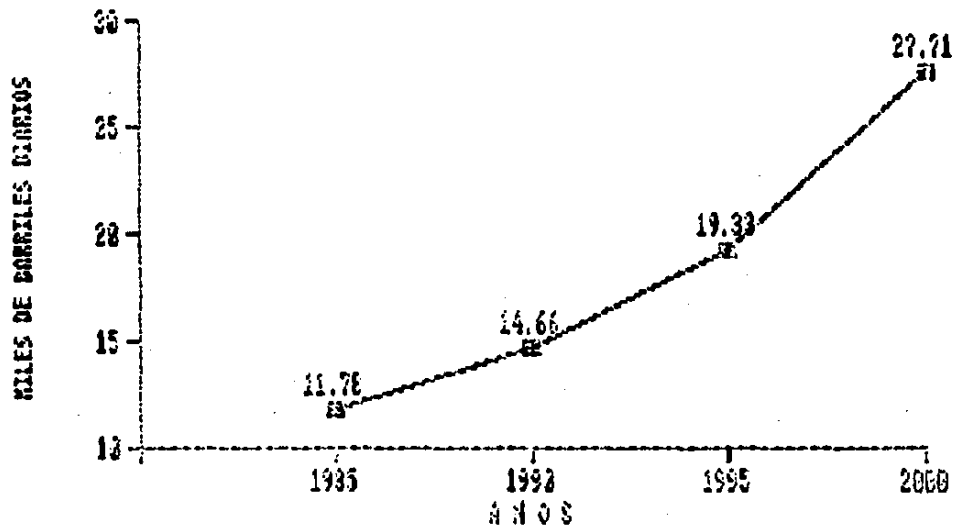


FIG. 3.13

DEMANDA ESPERADA DE LOS DENIAS
PETROLIFEROS EN EL AREA DE TAMPAENCOA



en lo que a atención general se refiere, en últimas fechas, debido al trágico suceso en noviembre de 1984 en la terminal de San Juan Ixhuatepec, lo que ha provocado preocupación en la ciudadanía vecina al área de la refinería, y esta preocupación se ha manifestado a través de los representantes tanto privados como gubernamentales de los vecinos del área, para que las instalaciones de la refinería sean sacadas de esa zona de la ciudad.

Estas expresiones del sentir de los habitantes de esta zona, así como también la preocupación de las autoridades para que no sucedan accidentes graves ha llevado a un sinnúmero de estudios y proyectos.

Petróleos Mexicanos, consciente de los riesgos que conlleva la industria de proceso y en este caso la transformación industrial de hidrocarburos del petróleo, llevó a cabo una serie de análisis para dictaminar los verdaderos riesgos potenciales que encierran las instalaciones de la refinería.

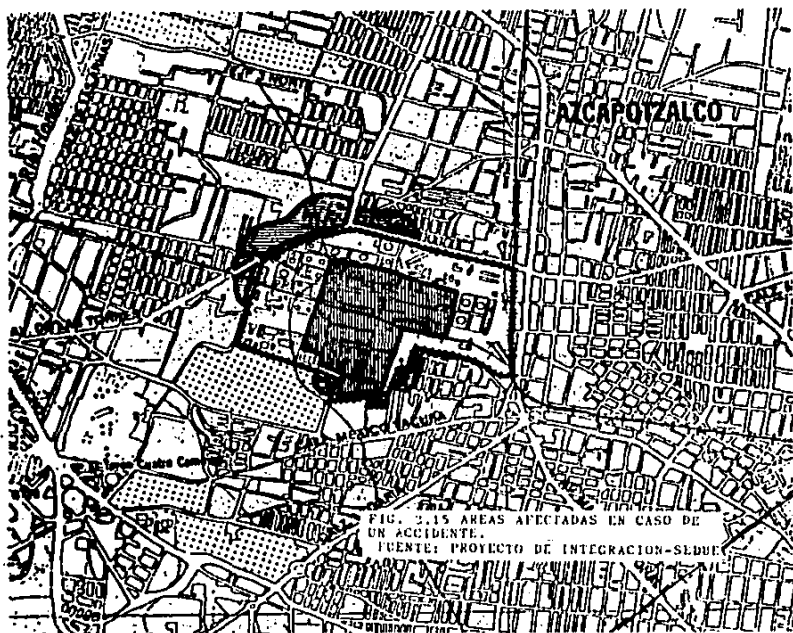
Este análisis partió de la clasificación de las áreas en áreas de procesos y áreas de almacenamiento. Se supuso una serie de accidentes muy improbables y con la experiencia de la institución, se determinaron las áreas que se verían afectadas.

En la figura 3.15 pueden verse las áreas afectadas tanto internas como externas, en el dado caso de estos posibles accidentes. (12)

En el área de almacenamiento, aunque se cumple con las distancias marcadas por la literatura extranjera especializada, PEMEX ha considerado una distancia mayor a fin de evitar en el caso hipotético antes mencionado, incomodidades y pánico a la población colindante, derivadas de la luminosidad de las llamas, el calor irradiado y el humo producido.

La simulación matemática validada por SEDUE ha permitido definir áreas de riesgo en forma de círculo para radiación térmica con un radio de 300 metros, fuera del cual la población no sería afectada. El área de afectación de esta radiación para los asentamientos urbanos colindantes se muestran en la figura antes mencionada.

En base a esto, podemos concluir que la inquietud que tiene la población vecina al área sobre la posibilidad de un accidente de consecuencias graves está en parte fundamentada, posiblemente esta preocupación sea un poco mayor al verdadero riesgo que presentan las instalaciones, pero el riesgo existe y hay que disminuirlo.



PERIMETRO DE LA
REFINERIA "18 -
DE MARZO".



AREA DE INFLUENCIA
AL EXTERIOR



AREA DE INFLUENCIA
AL INTERIOR

III.5.2 Contaminación

Por otro lado, otro gran problema que presenta la localización de la refinería es el de su contribución al desarrollo del deterioro ambiental.

Como consecuencia del incremento en la afectación física debida a la contaminación ambiental que sufrieron los habitantes de la ciudad de México con mayor intensidad en los inviernos de 1985 y 1986, la población del área metropolitana se concientizó del gran problema que enfrenta esta ciudad. Estos incrementos se debieron a que las condiciones meteorológicas prevalecientes en la ciudad de México ejercen una influencia preponderante sobre la calidad del aire durante todo el año y más desfavorablemente en el invierno.

La contaminación del aire provocada por la emisión de polvos, vapores gases y otros de origen antropogénico, se agrava en esa época por la mayor frecuencia de calmas y vientos de baja velocidad, aunada a la presencia de aire frío y seco casi estacionario a altura considerable, así como por la alta frecuencia de inversiones térmicas intensas y prolongadas.

Tomando en consideración lo anterior, el Gobierno Federal a través de la Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología ha instrumentado una serie de medidas, las cuales han culminado

con un programa de carácter nacional presentado por la Comisión Nacional de Ecología en enero del presente año y consta de 100 acciones necesarias para atacar el problema de la contaminación.

Este programa en su acción número 30 contempla el problema que presenta la refinería 18 de Marzo a esta ciudad, en cuanto a contaminación se refiere. Por lo que toca a las acciones por realizar, se tratarán en el siguiente inciso y solamente se mencionará en este momento que "conforme las condiciones financieras lo permitan, se realizarán las ampliaciones a la capacidad de refinación de PEMEX fuera del valle de México, para lograr la reubicación, a mediano plazo, del proceso industrial que se realiza en Azcapotzalco". (13)

III.5.3 Concentración industrial

Otro gran motivo que obliga a apoyar la relocalización de la refinería de Azcapotzalco es el Programa de Desconcentración Nacional, ya que como sabemos en México el proceso industrial ha contribuido a la concentración de la actividad económica en unas cuantas zonas urbanas. Por ello "existe la voluntad política de impulsar en toda la República, las bases que permitan asegurar la descentralización de los servicios, de la industria, de la producción y del empleo, reorientando su expansión y propiciando con ello el bienestar

de toda la población". (14) Así es que la derrama de empleos y demás consecuencias que lleva la instalación de un centro de refinación de hidrocarburos, contribuirá a este es fuerzo nacional.

III.5.4 Problemas varios

Otros problemas, posiblemente no de la misma magnitud que los anteriores pero que es necesario considerar, son los que se presentan en las áreas vecinas a la refinería provocados por ésta.

Podríamos mencionar que existe una carencia preocupante de áreas verdes y recreativas que agrava los problemas de contaminación y deterioro ambiental por emisión de gases y polvos emitidos por esta refinería y otras industrias del área de Azcapotzalco.

El tamaño y la ubicación que tiene la refinería provoca deficiencia en algunas líneas de los sistemas de transporte y vialidad de la zona.

Otros problemas que se presentan en esa sección de la ciudad que posiblemente no son creados por la refinería pero que podrían mejorar con la salida de la refinería, son: el déficit de agua generado por el rápido incremento en la demanda de

agua por el aumento de la población y en sus usos industriales, así como las condiciones precarias de vida provocadas por una irregularidad manifiesta en el uso de la tierra con numerosos lotes baldíos, desaprovechados o mal aprovechados.

III.6 FUTURO DE LA REFINERIA

Como ya se mencionó anteriormente, desde hace algunos años Petróleos Mexicanos ha seguido la política de no llevar a cabo ningún aumento en las instalaciones de la refinería, sino solamente se realizan tareas de actualización de equipo.

Petróleos Mexicanos seguirá con esta política de no crecimiento pero se ha planteado la meta de ir transformando la refinería, con el objeto de minimizar en lo posible los niveles de contaminación y los supuestos riesgos, hasta llegar a convertirla en un complejo industrial de usos múltiples en concordancia con lo planteado por la Comisión Nacional de Ecología.

Este plan contempla la disminución gradual y adecuada en los procesos de transformación de hidrocarburos, que irá de acuerdo al crecimiento de la satisfacción de la demanda del área de influencia de esta refinería, por otros centros de refinación.

El programa de remodelación de la refinería ya se encuentra

en operación y, entre las actividades más relevantes están: abatir las emisiones a la atmósfera de olores, humos, polvos, hidrocarburos y azufre; modernización de las casas para instrumentos de control y protección de las plantas de proceso.

En la etapa final de este plan, el complejo industrial contará con instalaciones de bajos niveles de contaminación y riesgos para:

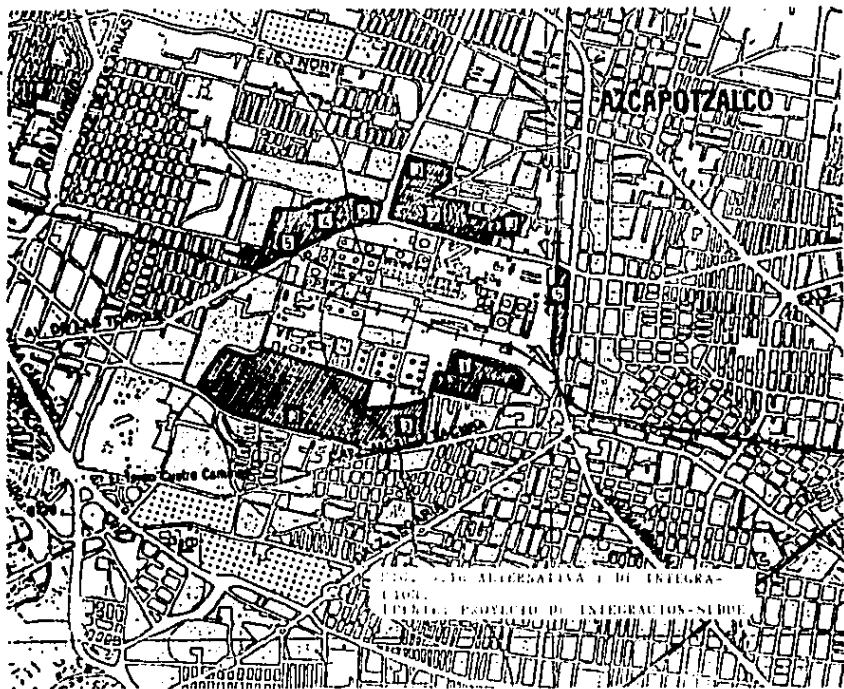
- Fabricación de productos químicos y petroquímicos especializados, fabricación que significa volúmenes pequeños de producción, operación limpia y alta rentabilidad.
- Talleres de fabricación de bienes de capital.
- Centro de mantenimiento de equipos de la industria petrolera.
- Escuela de adiestramiento de personal manual y técnico para operación de plantas.
- Se conservará la función de almacenamiento y distribución, aunque reducida, a la zona cercana de influencia del complejo.
- Las plantas actuales y fundamentales para la refinación se mantendrán listas para reanudar operación en casos eventuales.
- Todo lo anterior permitirá conservar las plazas actuales de trabajo.

Por otro lado, se tiene un proyecto para establecer áreas de reserva ecológica y beneficios a la comunidad aledaña, de acuerdo a un programa de reordenamiento urbano.

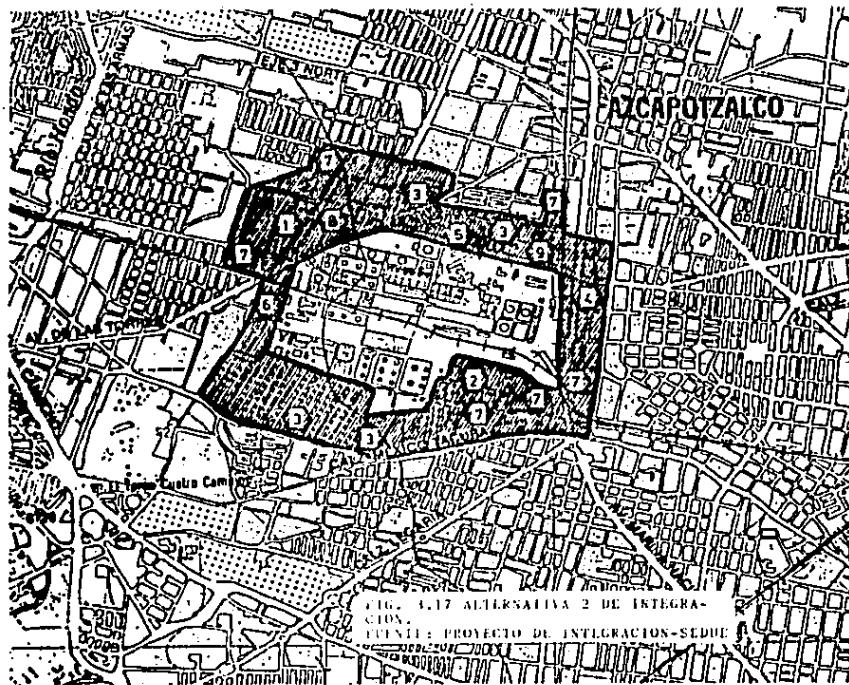
Este proyecto, conocido como Proyecto de Integración de la Refinería "18 de Marzo" de Azcapotzalco con las Áreas Circunvecinas, elaborado por PEMEX-DDF-SEDUE en septiembre de 1985, contempla tres alternativas que en realidad son tres niveles pues plantean soluciones semejantes con sólo variaciones en el monto invertido y, por tanto, en los resultados obtenidos. A continuación se presentan las figuras respectivas para las dos primeras (figuras 3.16 y 3.17).

Estas alternativas plantean a grandes rasgos el establecimiento de una zona de amortiguamiento y de reserva ecológica alrededor de la refinería, con el objeto de minimizar los efectos derivados tanto por las molestias del deterioro ambiental, como la de un hipotético accidente, así como el de mejorar las condiciones de vida de ese sector de la población.

Este proyecto se llevaría a cabo mediante la adquisición de terrenos, construcción de viviendas, construcción de un parque urbano, reestructuración de la vialidad, construcción de las plantas de tratamiento de aguas negras y la dotación de agua tratada.



- 1 PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES
- 2 VIVERO
- 3 PANTONES EXISTENTES
- 4 PATRIMONIO HISTORICO Y CULTURAL
- 5 AREAS VERDES



- 1 LAGO RECREATIVO
- 2 PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS
- 3 PANTEONES EXISTENTES
- 4 JUEGOS INFANTILES
- 5 VIVERO
- 6 ZONA DEPORTIVA
- 7 AREAS VERDES
- 8 PATRIMONIO HISTORICO Y CULTURAL
- 9 ZONA COMERCIAL EXISTENTE

FIG. 4.17 ALTERNATIVA 2 DE INTEGRACION.
 FUENTE: PROYECTO DE INTEGRACION-SEDUE

Básicamente, estos son los planes que tienen las autoridades para la refinería de Azcapotzalco, por lo que ahora se pasa al estudio de localización factible.

CAPITULO IV

LOCALIZACIONES FACTIBLES

Una vez habiendo concluido con el análisis general de la situación actual, perspectivas e interrelaciones de la refinería "18 de Marzo", pasemos ahora a la parte fundamental de este trabajo.

En este estudio se pretende determinar la o las localizaciones de los centros de refinación necesarios para sustituir, a mediano plazo, las instalaciones de la refinería de Azcapotzalco. Para lograr este objetivo, se llevaron a cabo una serie de actividades que a continuación se señalarán.

Es importante notar que los puntos tratados en este capítulo servirán de base para el desarrollo del modelo de programación lineal y, de igual forma, serán fundamentales para la determinación tanto de los parámetros como de las variables que intervienen en el mismo.

IV.1. SECUENCIA DE LAS ACTIVIDADES DESARROLLADAS

Como ya se indicó, mucho se ha estudiado en el tema de la localización industrial, y se ha llegado a la conclusión de que, empléese el método que se emplee, es de suma importan-

cia determinar la mejor alternativa con la menor inversión de tiempo y dinero, analizando el mayor número posible de alternativas factibles.

Para esto se llevó a cabo un proceso de selección que consta de tres fases fundamentales:

FASE 1. En esta primera fase se establecen los factores determinantes con los cuales debe cumplir las posibles localizaciones para ser sujetas de análisis. Con el objeto de eliminar o descartar del estudio aquellas localizaciones que no sean factibles, por no satisfacer alguno o algunos de los factores determinantes, con los consecuentes ahorros.

FASE 2. En esta fase se hace una investigación bibliográfica y de campo, que nos permite conocer la información necesaria para determinar cuáles son las localizaciones sujetas de un análisis profundo.

Posteriormente, en esta misma fase, se hace una descripción más detallada de las localizaciones factibles y de las posibles interrelaciones con las demás instalaciones que intervienen en el estudio.

FASE 3. En esta última etapa del estudio se selecciona la o las localizaciones óptimas que satisfagan nuestros

requerimientos. Esta selección final se hace por medio del modelo matemático de programación lineal y del análisis e interpretación de los resultados obtenidos al aplicar el mismo.

En este capítulo se desarrollarán las dos primeras fases, y en los siguientes se llevarán a cabo las actividades correspondientes a la tercera.

IV.2 FACTORES DETERMINANTES

En la literatura sobre el tema existe un sinnúmero de listas de factores a considerar cuando se está analizando el proyecto de una localización industrial. Sin embargo, se consideró, compartiendo la opinión con algunos investigadores, que se debe desarrollar una lista particular para cada proyecto.

Por esto hay que considerar el hecho de que la industria que se está analizando tiene características muy particulares, especialmente en nuestro país.

La industria petrolera en México tiene un carácter social que nos obliga a dejar de considerar muchos factores que una industria privada contemplaría como fundamentales, y a considerar otros que el capital privado no contempla.

Dadas las características especiales de la industria petrolera en México, se consideran los factores que a continuación se listan:

1. LOCALIZACION
 - a) Area del país
 - b) Influencia sobre los centros urbanos
2. INFRAESTRUCTURA
 - a) Medios de comunicación
 - . Carreteras
 - . Vías férreas
 - . Vías aéreas
3. INSUMOS REQUERIDOS
 - a) Agua
 - . Existencia de agua
 - . Efectos sobre el centro urbano
 - b) Energía eléctrica
 - . Electricidad de alta tensión
 - c) Combustible
 - . Líneas de gas
 - d) Personal técnico y manual

IV.3 DETERMINACION Y ANALISIS DE LAS POSIBLES LOCALIZACIONES

IV.3.1 Determinación de las posibles localizaciones

LOCALIZACION

a) Area del país

En este punto se pretende analizar las posibles áreas del país con determinadas características para las posibles localizaciones, de las cuales solamente se van a estudiar aquellas localizaciones que se encuentren dentro del área de influencia de la refinería "18 de Marzo", ya que es ésta la que se pretende sustituir, misma que ya se describió en el capítulo tercero.

b) Influencia sobre los centros urbanos

Este punto implica que debe tomarse en consideración que la ubicación del centro de refinación no altere considerablemente el medio socioeconómico y ecológico del centro urbano cerca del cual se instale. Por este motivo y, de acuerdo a las recomendaciones seguidas por Petróleos Mexicanos, se consideraran como razonables aquellas ciudades que cuenten con poblaciones de entre 20 mil habitantes como mínimo y 60 mil como máximo.

De lo expuesto se concluye que para estos dos primeros requi

sitos, las ciudades que cumplen son:

ESTADO	CIUDAD	
Guerrero México	Taxco de Alarcón	
	Amecameca	
	Chalco	
	La Paz	
	Texcoco	
	Cuautitlán Izcalli 1	
	Cuautitlán Izcalli 2	
	Morelos	Cuautla
		Jojutla
	Puebla	Huauchinango
Izucar de Matamoros		
San Martín Texmelucan		
San Pedro Cholula		
Teziutlán		
Tlaxcala	Apizaco	
	Huamantla	
	Tlaxcala	
	San Pablo del Monte	
Hidalgo	Tula	

TABLA 4.1 POSIBLES LOCALIZACIONES EN BASE AL LUGAR.

2. INFRAESTRUCTURA

a) Medios de comunicación

Tanto para la instalación como la operación y mantenimiento de los centros de refinación, es indispensable contar con adecuados medios de comunicación, como son las carreteras y las vías de tren. En especial, estas últimas se emplean como el principal medio para sustituir a los ductos en cuanto

a distribución de grandes cantidades de productos se refiere.

Tomando esto en consideración, se puede concluir que las posibles localizaciones son:

ESTADO	CIUDAD
México	Amecameca
	Chalco
	La Paz
	Texcoco
	Cuautitlán Izcalli 1
	Cuautitlán Izcalli 2
Morelos	Cuautla
	Jojutla
Puebla	Huauchinango
	San Martín Texmelucan
	San Pedro Cholula
	Teziutlán
Tlaxcala	Apizaco
	Huamantla
	Tlaxcala
	San Pablo del Monte
Hidalgo	Tula

TABLA 4.2 POSIBLES LOCALIZACIONES EN CUANTO A INFRAESTRUCTURA.

3. INSUMOS REQUERIDOS

a) Energía eléctrica

En los centros de refinación petrolera se requiere de gran cantidad de energía eléctrica para el consumo interno de los mismos, por lo cual es necesaria la existencia de líneas eléctricas cercanas a las posibles localizaciones.

Por lo que se refiere a este punto, todas las posibles localizaciones cumplen con este requerimiento, por lo tanto, se tiene la siguiente tabla:

ESTADO	CIUDAD
México	Amecameca
	Chalco
	La Paz
	Texcoco
	Cuautitlán Iscalli 1
	Cuautitlán Iscalli 2
Morelos	Cusutla
	Jojutla
Puebla	Huauclilla
	San Martín Texmelucan
	San Pedro Cholula
	Tesiutlán
Tlaxcala	Apisaco
	Huamantla
	Tlaxcala
	San Pablo del Monte
Hidalgo	Tula

TABLA 4.3 POSIBLES LOCALIZACIONES EN CUANTO A ENERGIA ELECTRICA

b) Agua

Por las características especiales de la industria petrolera, la existencia de agua cercana es de gran importancia para la misma, por lo cual se requiere de grandes cantidades de agua en las posibles localidades, siempre cuidando que no se afecte el uso que normalmente le da la comunidad a los re cursos acuíferos.

En principio, todos los centros antes mencionados podrían satisfacer las necesidades fundamentales de agua, ya sea por bombeo de aguas superficiales cercanas o por extracción de aguas subterráneas.

Sin embargo, en el valle de México existe una veda rígida que recomienda no incrementar la explotación para ningún fin o uso, debido a la sobreexplotación que existe en esa zona de los recursos acuíferos.

De lo expuesto se obtienen las siguientes posibles localizaciones:

ESTADO	CIUDAD
Morelos	Cuautla
	Jojutla
Puebla	Huauclilla
	Izucar de Matamoros
	San Martín Texmelucan
	San Pedro Cholula
	Teziutlán
Tlaxcala	Apizaco
	Huamantla
	Tlaxcala
	San Pablo del Monte
Hidalgo	Tula

TABLA 4.4 POSIBLES LOCALIZACIONES EN CUANTO A DISPONIBILIDAD DE AGUA.

c) Combustible

En los procesos petrolíferos, esencialmente, se usa gas como

combustible, por lo que es necesario que las instalaciones queden cerca de los gasoductos que PEMEX tiene para el transporte y distribución de ese combustible.

De donde resulta que las ciudades cercanas a dichas instalaciones son:

ESTADO	CIUDAD
Puebla	San Martín Texmelucan
	San Pedro Cholula
Tlaxcala	Apizaco
	Huamantla
	Tlaxcala
	San Pablo del Monte
Hidalgo	Tula

TABLA 4.5 POSIBLES LOCALIZACIONES POR DISPONIBILIDAD DE COMBUSTIBLE.

d) Personal

Si partimos de la premisa de que se trata de sustituir un centro productor, el personal que ahora labora en la refinería de Azcapotzalco debe ser el mismo que operaría la nueva instalación.

IV.3.2 Interrelaciones de las posibles localizaciones

Con el objeto de poder determinar de qué manera se podrían interrelacionar las posibles localizaciones de los centros productores de crudo con los centros de demanda, se realizó

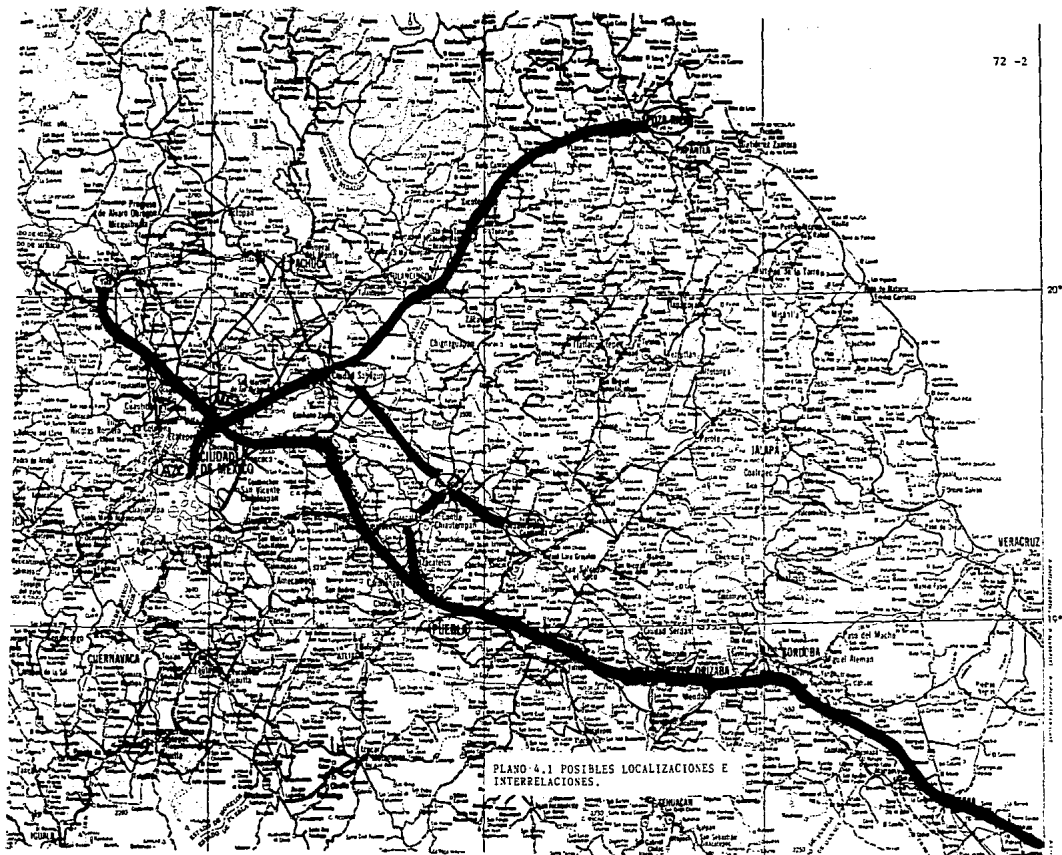
un análisis de las líneas de conducción ya existentes y de las posibles nuevas instalaciones.

En el plano 4.1 se muestran las interrelaciones que se consideraron como prudentes para realizar el estudio. En ellas se asegura que existan alternativas para abastecer a los posibles centros de refinación de petróleo crudo, así como para garantizar que sea posible la distribución de los petrolíferos.

Una vez establecidas las dos primeras fases fundamentales referentes a establecer los factores determinantes para intentar la localización y la investigación correspondiente, que nos han permitido reducir el número de alternativas más viables, se buscará la más idónea aplicando un modelo matemático.

Localidades	FACTORES DETERMINANTES				
	Loc.	Infra estructura	Energía eléctrica	Agua	Combustible
Taxco, Gro.	X				
Amecameca, Edo. Méx.	X	X	X		
Chalco	X	X	X		
La Paz	X	X	X		
Texcoco	X	X	X		
Cuautitlán Izcalli 1	X	X	X		
Cuautitlán Izcalli 2	X	X	X		
Cuautla, Mor.	X	X	X	X	
Jojutia	X	X	X	X	
Huauchinango, Pue.	X	X	X	X	
Izucar de Matamoros	X				
San Martín Texmelucan	X	X	X	X	X
Cholula	X	X	X	X	X
Teziutlán	X	X	X	X	
Apizaco, Tlax.	X	X	X	X	X
Huamantla	X	X	X	X	X
Tlaxcala	X	X	X	X	X
San Pablo del Monte	X	X	X	X	X
Tula, Hgo.	X	X	X	X	X

TABLA 4.5 Resumen de localidades y satisfacción o no de los factores determinantes



CAPITULO V

TEORIA DE LA PROGRAMACION LINEAL

V.1 INTRODUCCION

La programación lineal se encuentra entre los avances científicos más importantes de la segunda mitad del siglo XX. Esto se debe a la gran variedad de situaciones en las que se puede aplicar, y a los grandes beneficios que trae en cuanto a optimización.

No obstante la extensa diversidad de aplicaciones que tiene la programación lineal, su función es básicamente la misma y se puede resumir en pocas palabras; la programación lineal trata de asignar recursos limitados entre actividades competidoras de una manera óptima.

Para poder realizar esta función, la programación lineal utiliza un modelo matemático que describe el problema en cuestión. Este modelo deberá tener todas sus funciones lineales, por esto el adjetivo "lineal". Asimismo, la palabra "programación" se refiere en esencia a planificación. Por tanto, como dice Hillier, la programación lineal comprende la planificación de actividades para obtener un resultado "óptimo".

V.2 MODELO MATEMATICO DE PROGRAMACION LINEAL

La aplicación práctica de la programación lineal implica la maximización o la minimización de una función lineal de un conjunto de variables no negativas, sujetas a un grupo de restricciones lineales que relacionan a las variables. Esto se puede expresar por el modelo matemático de la programación lineal que se define como sigue:

$$Z = C_1X_1 + C_2X_2 + C_3X_3 + \dots + C_nX_n$$

Sujeta a las restricciones

$$A_{11}X_1 + A_{12}X_2 + A_{13}X_3 + \dots + A_{1n}X_n \leq b_1$$

$$A_{21}X_1 + A_{22}X_2 + A_{23}X_3 + \dots + A_{2n}X_n \leq b_2$$

$$A_{31}X_1 + A_{32}X_2 + A_{33}X_3 + \dots + A_{3n}X_n \leq b_3$$

$$\begin{array}{ccccccc} \cdot & \cdot & \cdot & & \cdot & \cdot & \\ \cdot & \cdot & \cdot & & \cdot & \cdot & \\ \cdot & \cdot & \cdot & & \cdot & \cdot & \end{array}$$

$$A_{m1}X_1 + A_{m2}X_2 + A_{m3}X_3 + \dots + A_{mn}X_n \leq b_m$$

y

$$X_j \geq 0 \text{ para } j = 1, 2, 3, \dots, n$$

Y se puede interpretar de la siguiente forma:

Dado un número m de recursos limitados que deben ser asignados a un número n de actividades competidoras. Se deberán de

terminar las variables de decisión $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$ que representan el nivel o la intensidad de la actividad j (para $j = 1, 2, 3, \dots, n$).

Z representa la medida total de la efectividad.

C_j es el incremento que se obtendrá en la medida total de la efectividad (Z) por unidad de incremento en X_j ($j = 1, 2, 3, \dots, n$).

b_i es la cantidad disponible del recurso i (para $i = 1, 2, 3, \dots, m$).

A_{ij} es la cantidad del recurso i que debe asignarse a cada unidad de la actividad j .

Se puede observar que existe un número m de restricciones que nos sirven para mostrar cómo están limitados cada uno de los recursos.

Asimismo se observa que el significado de las desigualdades no es otro que mostrar que la cantidad que se dispone de un recurso escaso debe ser mayor o igual a la suma de todas las cantidades parciales empleadas del mismo.

Algunos términos importantes:

- Forma estándar del modelo: se conoce con este nombre al modelo matemático antes presentado.

- Función objetivo: es la función que se está maximizando o minimizando Z .
- Variables de decisión: son las variables X_j .
- Parámetros del modelo: son las constantes de entrada, A_{ij} , b_i y C_j .

Se verán ahora unos ejemplos de aplicaciones de programación lineal.

Ejemplo 5.2.1 Problema de la dieta (15)

Uno de los problemas clásicos en la investigación de operaciones es el problema de la dieta. El objetivo es saber qué cantidad de ciertos alimentos debe comer un individuo para llenar ciertos requisitos de nutrición y todo esto a un costo mínimo.

Se supone que este problema se limita a leche, carne, huevos y a las vitaminas A, C y D. Supóngase que el número de miligramos de cada una de estas vitaminas contenido en una unidad de cada alimento, así como el costo de cada unidad de alimento, están dados en la siguiente tabla:

Vitamina	Leche 1 lt	Carne 1 kg	Huevo 1 doc	Minimo diario de cada vitamina
A	1 mg/lt	1 mg/kg	10 mg/doc	1 mg
C	100 mg/lt	10 mg/kg	10 mg/doc	50 mg
D	10 mg/lt	100 mg/kg	10 mg/doc	50 mg
	1.00 \$/lt	1.10 \$Kg	0.50 \$/doc	Costo por unidad de cada alimento

TABLA 5.1

SOLUCION

Sean X_l , X_c y X_h el número de litros de leche, kilogramos de carne y docenas de huevos, respectivamente, que se deben consumir diariamente. El objetivo del problema es el de minimizar el costo de la alimentación, por lo tanto, tenemos:

$$\text{Min } z = 1.00 X_l + 1.10 X_c + 0.50 X_h$$

Pero se debe cumplir con los requisitos alimenticios, es decir, se debe consumir cierta cantidad de vitaminas diariamente, por lo tanto, tenemos:

- a) Se debe consumir por lo menos 1 mg de vitamina A diariamente; esta restricción se escribe como sigue:

$$X_l + X_c + 10X_h \geq 1$$

- b) Se tiene la misma restricción para la vitamina C:

$$100X_l + 10X_c + 10X_h \geq 50$$

c) Para la vitamina D se tiene, al igual que para las anteriores:

$$10Xl + 100Xc + 10Xh \geq 50$$

Por lo tanto, este modelo matemático queda como sigue:

$$\text{Min } Z = Xl + 1.1Xc + 0.5Xh$$

Sujeto a:

$$Xl + Xc + Xh \geq 1$$

$$100Xl + 10Xc + 10Xh \geq 50$$

$$10Xl + 100Xc + 10Xh \geq 50$$

$$Xl, Xc, Xh \geq 0$$

EJEMPLO 5.2.2 Planeación de la producción (16)

Se procesan tres productos a través de tres operaciones diferentes. Los tiempos (en minutos) requeridos en cada operación por unidad de cada producto, la capacidad diaria de las operaciones (en minutos por día) y el beneficio por unidad vendida de cada producto (en pesos), son como sigue:

Operación	Tiempo por unidad (min)			Capacidad de operación (min/día)
	Producto 1	Producto 2	Producto 3	
1	1	2	1	430
2	3	0	2	460
3	1	4	0	420
Ganancia por unidad (pesos)	3	2	5	

TABLA 5.2

Los tiempos cero indican que el producto no requiere la operación dada. Se supone que todas las unidades producidas se venden. Además, los beneficios dados por unidad son valores netos que resultan después que se deducen todos los costos pertinentes. La meta del modelo es determinar la producción diaria óptima para los tres productos que maximice el beneficio.

Las variables se identifican inmediatamente como el número diario de unidades que deben fabricarse de cada producto. Sean X_1 , X_2 y X_3 , el número de unidades diarias producidas de los productos 1, 2 y 3. Debido a la hipótesis de que todas las unidades producidas se venden, en beneficio total Z (en unidades monetarias) para los tres productos es:

$$Z = 3X_1 + 2X_2 + 5X_3$$

Las restricciones del problema deben asegurar que el tiempo de procesamiento total requerido por todas las unidades producidas no exceda la capacidad diaria de cada operación; esto se expresa en la siguiente forma:

$$\text{Operación 1: } 1X_1 + 2X_2 + 1X_3 \leq 430$$

$$\text{Operación 2: } 3X_1 + 0X_2 + 2X_3 \leq 460$$

$$\text{Operación 3: } 1X_1 + 4X_2 + 0X_3 \leq 420$$

Debido a que no tiene sentido producir cantidades negativas, deben agregarse las restricciones de no negatividad $X_1 \geq 0$,

$x_2 \geq 0$ y $x_3 \geq 0$.

El modelo de programación lineal se resume ahora como sigue:

$$\text{Max } Z = 3x_1 + 2x_2 + 5x_3$$

sujeto a:

$$x_1 + 2x_2 + x_3 \leq 430$$

$$3x_1 + 2x_3 \leq 460$$

$$x_1 + 4x_2 \leq 420$$

$$x_1, x_2, x_3 \geq 0$$

V.3 METODO GRAFICO PARA LA SOLUCION DE PROBLEMAS DE PROGRAMACION LINEAL

El método gráfico solamente se puede utilizar para resolver problemas de programación lineal con dos variables de decisión, por lo que su campo de aplicación es extremadamente restringido a problemas muy sencillos y pequeños; sin embargo, este método es muy didáctico ya que permite ir viendo cómo el procedimiento nos va llevando poco a poco a la solución óptima.

Sea el siguiente modelo de programación lineal:

$$\text{Max } Z = 3x_1 + x_2$$

Sujeto a:

$$\begin{aligned} X_1 &\leq 5 \\ 2X_2 &\leq 12 \\ 4X_1 + 3X_2 &\leq 24 \\ X_1, X_2 &\geq 0 \end{aligned}$$

Este método consiste en la construcción de una gráfica bidimensional, con X_1 y X_2 como ejes. Utilizando solamente el primer cuadrante debido a las restricciones de no negatividad.

Ahora, el primer paso será trazar las rectas de cada restricción transformada en una igualdad:

$$\begin{aligned} X_1 &= 5 \\ 2X_2 &= 12 \\ 4X_1 + 3X_2 &= 24 \end{aligned}$$

Como el valor de cada una de las restricciones debe ser menor o igual al valor de la ecuación, entonces la única área que cumple con estos requisitos es la comprendida entre las rectas y los ejes, es decir, el polígono OABCD, que se ve en la figura 5.1.

El paso final es determinar el punto (X^*_1, X^*_2) que se encuentre dentro de esta región que maximice a la función objetivo:

$$\text{Max } Z = 3X_1 + X_2$$

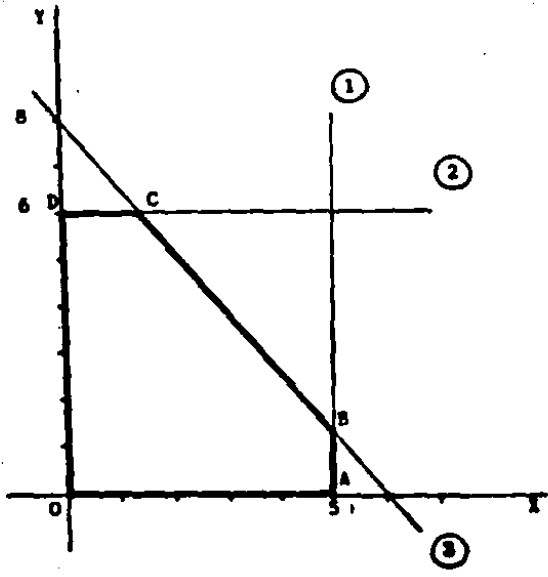


FIG. 5.1

Si se considera la siguiente recta:

$$\frac{3X}{\sqrt{10}} + \frac{X}{\sqrt{10}} = p \quad (5.1)$$

y se recuerda la Geometría Analítica, se sabe que "p" es la distancia perpendicular a la recta desde el origen; y (5.1) representa a una familia de rectas paralelas. Ahora, de la función objetivo y de (5.1) obtenemos que:

$$z = p \sqrt{10} \quad (5.2)$$

De esta ecuación se puede decir que maximizar Z equivale a maximizar $p\sqrt{10}$, esto es, encontrar aquel miembro de la familia de rectas paralelas más alejado del origen y que tiene cuando menos un punto dentro o en la frontera del polígono OABCD.

Para terminar nuestro ejemplo, podemos decir que $X^*_1 = 5$ y $X^*_2 = 28/3$, por lo tanto, $Z^* = 49/3$.

V.4 MÉTODO SIMPLEX

El método simplex es el procedimiento empleado para resolver los problemas de programación lineal con cualquier número de variables de decisión.

En la actualidad, la gran mayoría de los problemas son resueltos por programas de computadora diseñados para resolver este

tipo de problemas. Sin embargo, es necesario conocer los pasos fundamentales para la resolución manual de los mismos, con el objeto de poder hacer una mejor interpretación de los resultados.

El método simplex es un algoritmo, es decir, un procedimiento iterativo de solución, el cual consta de un criterio para arrancar y un criterio para detenerse. Ahora se verá cómo se establece el método simplex.

V.4.1 Establecimiento del método simplex

Como ya se vió, el modelo estándar de programación lineal es un conjunto de desigualdades, sin embargo, es mucho más conveniente trabajar con igualdades. Por esto, lo primero para el establecimiento del método será transformar las desigualdades en igualdades. Con este objeto, se van a introducir variables de holgura no negativas. Para ilustrar lo anterior se considera, otra vez, el siguiente ejemplo:

$$\text{Max } Z = 3X_1 + X_2$$

sujeto a:

$$X_1 \leq 5$$

$$2X_2 \leq 12$$

$$4X_1 + 3X_2 \leq 24$$

$$X_1, X_2 \geq 0$$

se considera la primera restricción,

$$X_1 \leq 5$$

se introduce una variable de holgura X_3 ,

$$X_1 = 5 - X_3$$

Esta es precisamente la holgura entre ambos miembros de la restricción. Incorporando la holgura a la restricción queda:

$$X_1 + X_3 = 5$$

La primera restricción que teníamos $X_1 \leq 5$ queda en su totalidad cubierta con la nueva restricción, teniendo $X_3 \geq 0$.

Ahora se introducen variables de holgura en las demás restricciones,

$$\text{Max } Z = 3X_1 + X_2$$

Sujeto a,

$$X_1 + X_3 = 5$$

$$2X_2 + X_4 = 12$$

$$4X_1 + 3X_2 + X_5 = 24$$

Y

$$X_i \geq 0 \quad \text{para } i = 1, 2, 3, 4, 5$$

Es importante mencionar que las restricciones de no negatividad se dejan como desigualdades, ya que sólo intervienen indirectamente en el algoritmo. Este nuevo sistema de restric-

ciones es idéntico al original, pero mucho más fácil para trabajar.

Se considera la siguiente definición para comenzar el proceso:

DEFINICION:

Supóngase que se tienen n variables y m ecuaciones, en donde $n > m$. Supóngase que seleccionamos m de n variables y se hacen las $n-m$ variables restantes iguales a cero. Si se resuelven las m ecuaciones para las m variables restantes, la solución resultante es una solución básica. Si las m variables son mayores o iguales a cero, se tiene una solución básica factible; se dice que esta solución básica factible es no degenerada si todas las m variables son mayores a cero. Las m variables escogidas se denominan como "básicas" y las $n-m$ variables restantes se conocen como variables "no básicas".

El primer paso en el método simplex es tomar a las variables de holgura como básicas y hacer las variables originales igual a cero. Esto garantiza que la primera solución básica sea factible, ya que todas las variables básicas tienen valores mayores o iguales a cero.

Por tanto, la solución básica factible inicial del método será siempre:

Variables
básicas

$$X_{n-m+i} = b_i$$

$$(i = 1, 2, \dots, m)$$

Variables
no básicas

$$X_j = 0$$

$$(j = 1, 2, \dots, n-m)$$

Y en este ejemplo quedarían:

Variables
básicas

$$X_3 = 5$$

$$X_4 = 12$$

$$X_5 = 24$$

Variables
no básicas

$$X_1 = 0$$

$$X_2 = 0$$

Ahora, se pasa al proceso iterativo. Este proceso implica la resolución del sistema de ecuaciones por medio del método de Gauss-Jordan, en el cual se va obteniendo una sucesión de soluciones básicas factibles, cada una más cercana a la solución óptima. Estas nuevas soluciones básicas factibles se irán obteniendo de la anterior, cambiando una variable básica por una no básica, variable que sale; y cambiando una variable no básica por una básica, variable que entra. Este proceso se repite hasta que la solución básica factible obtenida no es mejor que la anterior.

Con el objeto de escoger la variable que entra, se determina la variable que en la función objetivo tenga un mayor incremento positivo en Z al incrementar su valor. Esta es la variable que tenga el mayor coeficiente de C positivo en la

función objetivo.

En este ejemplo, se escoge X_1 como variable que entra a la base, pues tiene el coeficiente mayor de la función objetivo.

Ahora toca el turno a la variable que sale. La variable que dejará de ser básica es aquella cuyo valor se haga negativo primero cuando el valor de la variable de entrada se incrementa, y se determina obteniendo el límite de cada restricción, es decir, dividiendo el término constante de la ecuación, entre el coeficiente de la variable de entrada, y escogemos el menor de ellos que sea positivo.

En nuestro ejemplo, tenemos:

Límite

$$\frac{5}{1} = 5$$

$$\frac{12}{0} = -$$

$$\frac{24}{4} = 6$$

Se puede observar que el valor de X_2 no se afecta nunca por X_1 , por esto se puede incrementar al infinito sin que X_2 se vuelva negativa. En la primera ecuación se ve que lo máximo que se puede incrementar X_3 sin que X_1 se vuelva negativa es 5, y en la tercera ecuación es 6. Por lo tanto, la variable

que sale es X_3 y, aplicando el método Gauss-Jordan, se tiene:

Variables básicas	Variables no básicas
$X_1 = 5$	$X_2 = 0$
$X_4 = 12$	$X_3 = 0$
$X_5 = 4$	

con

$$Z = 15 + X_2 - 3X_3$$

Se observa que X_2 todavía puede incrementar Z , ya que es positiva y puede entrar a la base, por tanto, esta solución no es la óptima y se tiene que repetir el procedimiento hasta llegar a la solución óptima.

A continuación se presenta un resumen del método simplex.

V.4.2 Resumen del método simplex (17)

PASO I. Se convierten las m desigualdades restrictivas en m ecuaciones mediante el empleo de variables de holgura no negativas:

$$X_{n-m+i} = 0 \quad (i=1,2,3, \dots, m)$$

Selecciónense estas variables como variables básicas y páse-se al paso IV.

PASO II. Determine la nueva variable básica entrante (X_e), la cual deberá ser escogida como aquella que parezca incrementar más el valor de Z ; esto es, aquella variable no básica que en la función objetivo cuente con el mayor coeficiente entre aquellos con signo positivo cuando la función objetivo se encuentre en la forma:

$$Z = C_1X_1 + C_2X_2 + \dots + C_nX_n.$$

PASO III. Determinese la variable básica que deberá dejar la base (X_s). Esta variable es aquella no nula que se va a hacer nula en la siguiente iteración. Se escogerá como X_s aquella variable básica cuyo valor se hará negativo primero cuando el valor de la variable básica entrante X_e se incremente:

X_e = variable entrante

A_{ie} = coeficiente actual de X_e en la ecuación i

b_i = término actual constante en la i

El límite superior para X_e en la ecuación i será:

$$\text{Límite} = \begin{cases} = & \text{si } A_{ie} = 0 \\ \phi_i = \frac{b_i}{A_{ie}} & \text{si } A_{ie} > 0 \end{cases}$$

y hágase $\phi = \min \phi_i$.

Por lo tanto, determinese aquella ecuación $L=S$, cuyo límite

superior sea el menor y selecciónese la variable básica actual en dicha ecuación como variable de salida.

PASO IV. Determinese la nueva solución básica factible; para lograr esto, resuélvanse las variables básicas en términos de las variables no básicas empleando para tal efecto el método de eliminación de Gauss-Jordan.

PASO V. Pruebe la optimalidad de la solución; para esto se debe poner Z en función de las variables no básicas y revisar si el valor de Z puede aumentar al incrementar alguna de las variables básicas, esto es, revisando si alguna de ellas tiene signo positivo estando la función objetiva en la misma forma que en el paso II. Si todos los coeficientes son negativos, se debe parar aquí, pues nuestra solución es óptima, si existe alguno que no lo es, regrese al paso II.

V.4.3 Método del pivote

Quando se está resolviendo manualmente el problema, es recomendable usar la forma tabular, en la cual no se escribe en forma detallada todas las ecuaciones, sino sólo se registra la información esencial:

- Coeficientes de las variables
- Constantes de las restricciones
- Variables básicas

esta forma permite resaltar los números aritméticos que intervienen en los cálculos y facilita el registro de los resultados obtenidos.

Se presenta la tabla general inicial que se conoce como tableau original:

Ecuación número	Variable básica	Z	P1	P2	...	Pj	...	Pn	Po	Límite
0	Z	1	-C1	-C2	...	-Cj	...	-Cn	0	--
1		0	A11	A12	...	A1j	...	A1n	b1	b1/A1e
2		0	A21	A22	...	A2j	...	A2n	b2	b2/A2e
.	
.	
.	
m		0	Am1	Am2	...	Amj	...	Amn	bm	bm/Ame

TABLA 5.3

El método de solución es conocido como el Método del Pivote, pero es básicamente el mismo procedimiento antes explicado, empleando el método de Gauss-Jordan.

V.5 COMPLICACIONES DEL METODO SIMPLEX

En la mayoría de las ocasiones, al hacer el planteamiento del modelo de programación lineal, encontramos que su forma difiere del modelo general, lo que obliga a hacer unas consideraciones específicas, las cuales se explicarán a continuación para las principales variaciones a la forma general.

V.5.1 Minimización

Cuando no se quiere maximizar la función objetivo, sino por el contrario se quiere minimizarla, se debe considerar lo siguiente: el minimizar una función sujeta a un grupo de restricciones, es equivalente a maximizar el negativo de la función sujeta a las mismas restricciones. Esto es:

$$\text{Min } F = \text{Max } (-F)$$

V.5.2 Desigualdades con signo invertido

Este caso se presenta cuando en alguna o algunas de las restricciones, tenemos un signo \geq , a diferencia del convencional \leq del modelo general. Para resolver esto, se emplean las leyes de las desigualdades, en donde al multiplicar por (-1) la desigualdad, se cambia el signo de los coeficientes y el sentido de la desigualdad. Por tanto,

$$X_1 \geq 5 \quad \text{---->} \quad -X_1 \leq -5$$

Como se ve, 5 tiene signo negativo, lo que no debe ser; por tanto, se pasa a la siguiente complicación.

V.5.3 Valores negativos en bi

No se pueden tener valores negativos en bi, ya que se tendría una solución inicial que no es básica factible, por lo cual hay que corregirlo.

Se considera la siguiente restricción:

$$3X_1 + X_2 \geq 24$$

cambiamos el signo,

$$-3X_1 - X_2 \leq -24$$

se quita la desigualdad introduciendo una variable de holgura:

$$-3X_1 - X_2 + X_3 = -24$$

se cambia el signo,

$$3X_1 + X_2 - X_3 = 24$$

Ahora la variable básica es negativa, por lo tanto, se debe introducir otra variable con coeficiente positivo que se convertirá en la nueva variable básica, la cual se llamará "Variable artificial" y se designará por \bar{x} . Esta deberá ser mayor o igual a cero. Se tendrá entonces,

$$3X_1 + X_2 - X_3 + \bar{x}_4 = 24$$

En esta ecuación sí se puede emplear el método de resolución, sin embargo, esta ecuación es diferente a la original, ya

que $(X_3 - \bar{x}_4)$ puede tomar cualquier valor debido a que ambas son ≥ 0 . Esto implica que $3X_1 + X_2$ también tomará cualquier valor. Esto modifica el problema.

Para resolver esta dificultad, se introduce $M\bar{x}_4$ en la función objetivo, de tal forma que si $\bar{x}_4 \neq 0$, el valor de Z disminuya enormemente, ya que M representa un número extraordinariamente grande, esto obliga al método a hacer cero la variable artificial. Este método se conoce como el "Método de la gran M " o de "Caminos inusables".

V.5.4 Igualdades en las restricciones

Volviendo al ejemplo anterior, cambiando la tercera desigualdad por una igualdad:

$$Z - 3X_1 - X_2 = 0$$

$$X_1 + X_3 = 5$$

$$2X_2 + X_4 = 12$$

$$4X_1 + 3X_2 = 24$$

Se observa que no aparece X_5 , la variable de holgura, ya que originalmente es una igualdad, sin embargo, esto trae problemas en cuanto a la selección de la variable básica factible inicial.

Se puede resolver de tres formas:

1. Por tanteos.
2. Reemplazando esa ecuación por dos desigualdades de la siguiente forma:

$$4X_1 + 3X_2 = 24 \quad \begin{cases} 4X_1 + 3X_2 \leq 24 \\ 4X_1 + 3X_2 \geq 24 \end{cases}$$

3. Introduciendo una variable artificial y emplear el método de la Gran M, de tal forma que:

$$4X_1 + 3X_2 = 24 \quad \text{-----} \rightarrow \quad 4X_1 + 3X_2 + \bar{x}_5 = 24$$

Esta última alternativa es la más adecuada. Posteriormente se verá un ejemplo.

V.5.5 Variables no restringidas en signo

Como se ha visto, las variables de decisión deben ser mayores o iguales a cero, sin embargo, existen casos en los cuales pueden tomar valores tanto positivos como negativos. En estas circunstancias, es necesario emplear el siguiente truco para poder utilizar el método simplex.

Una variable no restringida en signo puede ser expresada como la diferencia de dos variables no negativas. Por lo tanto, si se tiene que, $- \infty < X < \infty$, se puede hacer $X = U - V$,

donde tanto U como V son mayores o iguales a cero.

Entonces, en estos casos se sustituye X en la función objetivo y en las restricciones por $U - V$, y se resolverá el problema normalmente.

Existe un caso particular de esta complicación, en el cual la variable está restringida a cierto valor negativo; lo que se hace es sustituirla por una nueva variable como se indica; supongamos:

$$x_1 \geq -9$$

se sustituirá por $x_1 = x_1' - 9$, y se resolverá para x_1' .

V.5.6 Empate para entrar a la base

Cuando dos o más variables no básicas tienen el mismo coeficiente positivo máximo en la función objetivo, y son sujetas de entrar a la base, se hace una selección arbitraria de una de ellas.

V.5.7 Empate para dejar la base

Cuando en el paso III del método se encuentra con que los límites de dos o más variables son iguales, se tendrá que escoger una de ellas de forma arbitraria. Sin embargo, es po-

sible entrar en un proceso de iteración sin salida, dado el caso hay que regresar y seleccionar otra alternativa.

V.5.8 Soluciones múltiples

Esta complicación es más comprensible gráficamente. Por ejemplo, si se tiene:

$$\text{Max } Z = 4X_1 + 3X_2$$

sujeto a:

$$X_1 \leq 5$$

$$2X_2 \leq 12$$

$$4X_1 + 3X_2 \leq 24$$

con

$$X_i \geq 0 \text{ para } i=1,2$$

cuya gráfica sería la figura 5.2.

En donde se puede ver que cualquier punto de la recta CB puede ser solución óptima, por lo tanto, se presentan soluciones múltiples.

Analíticamente se nota esto, cuando al llegar a la solución óptima una de las variables no básicas tendrá coeficiente cero en Z. Ahora bien, si se toma esa variable como de entrada y se hace otra iteración, se obtendrá otra solución óptima con el mismo valor para Z.

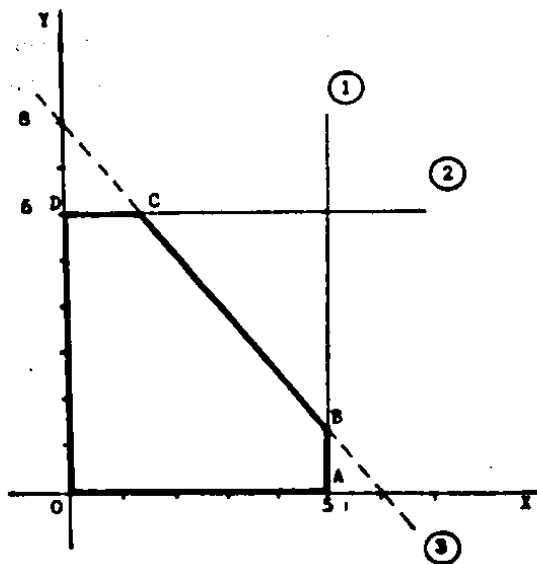


FIG. 5.2

V.5.9 Ausencia de soluciones factibles

No existirán soluciones factibles cuando se introducen variables artificiales y éstas no se reducen a cero, al obtener la solución óptima.

V.5.10 Solución óptima sin límite

La solución óptima no tendrá límite cuando todos los límites sean iguales a infinito. Esto es, la variable que entra puede aumentar su valor cuanto se quiera sin volver negativas las variables de la base.

V.6 EJEMPLOS DE APLICACION DEL METODO SIMPLEX

EJEMPLO 5.6.1

Sea el siguiente modelo de programación lineal. (18)

Función objetivo:

$$\text{Max } Z = 3X_1 + 2X_2$$

sujeta a:

$$16X_1 + 10X_2 \leq 160$$

$$9X_1 + 15X_2 \leq 135$$

$$X_2 \leq 5$$

$$X_1, X_2 \geq 0$$

PASO 1. Convertidas las desigualdades en ecuaciones introdu

ciendo variables de holgura y arregladas las ecuaciones de forma que las X_i correspondientes en cada ecuación aparezcan en la misma columna:

$$16X_1 + 10X_2 + X_3 + 0X_4 + 0X_5 = 160$$

$$9X_1 + 15X_2 + 0X_3 + X_4 + 0X_5 = 135$$

$$0X_1 + X_2 + 0X_3 + 0X_4 + X_5 = 5$$

$$X_i \geq 0 \quad (i=1,2,3,4,5)$$

PASO 2. Coloque los vectores columna P_j de una manera sistemática en una tabla como la siguiente:

Ecuación número	Variable básica	Z	P1	P2	P3	P4	P5	P0	Límite
0	Z	1	-3	-2	0	0	0	0	-
1	X_3	0	16	10	1	0	0	160	10
2	X_4	0	9	15	0	1	0	135	15
3	X_5	0	0	1	0	0	1	5	

$$X_6 = X_1$$

$$X_7 = X_3$$

Tableau 1.1

PASO 3. Determinada la variable de entrada y, después de calcular los límites, se determina la variable de salida de acuerdo al procedimiento enunciado anteriormente.

PASO 4. En un nuevo tableau, cámbiase X_3 por X_1 en la colum

na de variables básicas y póngase en el renglón correspondiente a la ecuación dividida entre el coeficiente de X_6 . Esto, con el objeto de que la X_6 tenga coeficiente de 1. Elimínese X_6 de todas las ecuaciones donde aparezca, quedando:

Ecuación número	Variable básica	Z	P1	P2	P3	P4	P5	P6	Límite
0	Z	1	0	-2/16	1/16	0	0	30	-
1	X1	0	1	10/16	1/16	0	0	10	16
2	X4	0	0	150/16	-9/16	1	0	45	4.8
3	X5	0	0	1	0	1	1	5	5

$$X_6 = X_2$$

$$X_6 = X_4$$

Tableau 1.2

PASO 5. Revisese la ecuación 0 para ver si existe algún coeficiente negativo; de ser así, la solución no es óptima y debe continuarse el procedimiento regresando al paso 3, por lo que el nuevo Tableau queda:

Ecuación número	Variable básica	Z	P1	P2	P3	P4	P5	P6
0	Z	1	0	0	11/200	2/150	0	30.6
1	X1	0	.1	0	1/10	-1/15	0	7
2	X2	0	0	1	-9/150	16/150	0	4.8
3	X5	0	0	0	9/150	16/150	1	0.2

Tableau 1.3

$$X^*1 = 7$$

$$X^*2 = 4.8$$

$$Z^* = 30.6$$

Se ve que la solución es óptima.

EJEMPLO 5.6.2

Sea el siguiente problema:

$$\text{Max } Z = 4X_1 + 14X_2$$

sujeto a:

$$2X_1 + 7X_2 \leq 21$$

$$7X_1 + 2X_2 \leq 21$$

$$X_1, X_2 \geq 0$$

Representado el problema en una forma matricial, se tendrá el siguiente tableau inicial, agregando las respectivas variables de holgura:

Ecuación número	Variable básica	Z	X_1	X_2	X_3	X_4	Po	Límite
0	Z	1	-4	-14	0	0	0	-
1	X_3	0	2	7	1	0	21	$21/7=3$
2	X_4	0	7	2	0	1	21	$21/2=11.5$

$$X_6 = X_2$$

$$X_5 = X_3$$

Tableau 2.1

Ecuación número	Variable básica	Z	X_1	X_2	X_3	X_4	Po	Límite
0	Z	1	0	0	2	0	42	-
1	X_2	0	2/7	1	1/7	0	3	11.5
2	X_4	0	45/7	0	-2/7	1	15	2.33

Tableau 2.2

Como se puede observar, la solución es óptima para un valor de $Z = 42$, $X_1 = 0$ y $X_2 = 3$; sin embargo, la variable no básica X_1 tiene coeficiente 0, lo que implica que hay soluciones alternativas, por esto se siguen las interacciones.

$$X_5 = X_1$$

$$X_6 = X_4$$

Ecuación número	Variable básica	Z	X_1	X_2	X_3	X_4	Po
0	Z	1	0	0	2	0	42
1	X_2	0	0	1	7/45	-2/45	7/3
2	X_1	0	1	0	-2/45	7/45	7/3

Tableau 2.3

La nueva solución óptima es $X_1 = 7/3$, $X_2 = 7/3$ y $Z = 42$. El valor de Z no varía, por lo que ambas soluciones son alternativas.

EJEMPLO 5.6.3

Sea el siguiente modelo de programación lineal:

$$\text{Min } Z = 5X_1 - 6X_2 - 7X_3$$

suje to a,

$$X_1 + 5X_2 - 3X_3 \geq 15$$

$$5X_1 - 6X_2 + 10X_3 \leq 20$$

$$X_1 + X_2 + X_3 \geq 5$$

y

$$X_1, X_2, X_3 \geq 0$$

Para poder aplicar el método simplex se debe:

- Transformar la función objetivo en maximización mediante la multiplicación de la ecuación por (-1).
- Convertir las desigualdades en ecuaciones, por medio de la introducción de variables de holgura.
- Introducir variables artificiales en la primera y en la tercera restricción, así como en la función objetivo.

De tal forma que se tendrá:

$$\text{Max } (-Z) = -5X_1 + 6X_2 - 7X_3 - M\bar{X}_5 - M\bar{X}_6$$

suje to a:

$$x_1 + 5x_2 - 3x_3 - x_4 + \bar{x}_5 = 15$$

$$5x_1 - 6x_2 + 10x_3 + x_7 = 20$$

$$x_1 + x_2 + x_3 + \bar{x}_6 = 5$$

$$x_i \geq 0 \quad (i=1,2,3,4,5,6,7)$$

De este modelo se obtiene el siguiente tableau:

Ecuación número	Variable básica	Z	x_1	x_2	x_3	x_4	\bar{x}_5	\bar{x}_6	x_7	Po
0	-Z	1	5	-6	-7	0	M	M	0	0
1	\bar{x}_5	0	1	5	-3	-1	1	0	0	15
2	\bar{x}_6	0	1	1	1	0	0	1	0	5
3	x_7	0	5	-6	10	0	0	0	1	20

Tableau 3.1

Antes de empezar a resolverlo se debe eliminar el coeficiente M de \bar{x}_5 y \bar{x}_6 en la función objetivo, ya que todas las variables básicas iniciales deben tener un coeficiente 0. Para esto se deben sumar las ecuaciones 1 y 2, y el resultado lo multiplicamos por (-M) y se lo sumamos a la función objetivo. De tal forma que se eliminan las M's en la función objetivo y queda el siguiente tableau.

Ecuación número	Variable básica	Z	x_1	x_2	x_3	x_4	\bar{x}_5	\bar{x}_6	x_7	Po	Límite
0	-Z	1	5-2M	-6-6M	-7+2M	M	0	0	0	-20M	-
1	\bar{x}_5	0	1	5	-3	-1	1	0	0	15	15/5=3
2	\bar{x}_6	0	1	1	1	0	0	1	0	5	5/1=5
3	x_7	0	5	-6	10	0	0	0	1	20	

$$x_5 = x_2$$

$$x_6 = \bar{x}_5$$

Tableau 3.2

Ecuación número	Variable básica	Z	x_1	x_2	x_3	x_4	\bar{x}_5	\bar{x}_6	x_7	Po	Límite
0	-Z	1	31/5-4/5M	0	-53/5+8/5M	-6/5-1/5M	6/5+6/5M	0	0	18-2M	-
1	x_2	0	1/5	1	-3/5	-1/5	1/5	0	0	3	
2	\bar{x}_6	0	4/5	0	8/5	1/5	-1/5	1	0	2	5/4
3	x_7	0	31/5	0	32/5	-6/5	6/5	0	1	38	95/16

$$x_5 = x_3$$

$$x_6 = x_2$$

Tableau 3.3

Ecuación número	Variable básica	Z	X_1	X_2	X_3	X_4	\bar{x}_5	\bar{x}_6	X_7	Po
0	-Z	1	45/5	0	0	1/8	-1/8+M	53/8+M	0	125/4
1	X_2	0	1/2	1	0	-1/8	1/8	3/8	0	15/4
2	X_3	0	1/2	0	1	1/8	-1/8	5/8	0	5/4
3	X_7	0	3	0	0	-2	2	-4	1	30

solución,

$$Z = -125/4$$

$$X_2 = 15/4$$

$$X_3 = 5/4$$

$$X_1 = 0$$

Tableau 3.4

CAPITULO VI

DESARROLLO DEL MODELO DE PROGRAMACION LINEAL

Con base en la teoría estudiada en el capítulo anterior, se va a desarrollar el modelo matemático que ayudará a encontrar la solución óptima. En este capítulo se presentará un modelo general para poder ser empleado en otros problemas que contemplen la localización o relocalización de una planta industrial.

De igual forma, se irán mostrando las consideraciones específicas que se tomaron en cuenta dadas las características particulares de la industria petrolera.

VI.1 OBJETIVOS DEL MODELO

El objetivo de utilizar un modelo de programación lineal es el poder determinar de una manera cuantitativa y óptima la o las localizaciones de los centros de producción necesarios para garantizar la satisfacción de la demanda de diferentes productos en un área determinada y para un horizonte de tiempo, a un costo mínimo.

Para lograr este objetivo, se tendrá que construir una red

que represente a todas las localidades que intervienen o pueden llegar a intervenir en el flujo que siguen los productos desde los posibles centros productores, hasta los centros de demanda, para pasar posteriormente a la elaboración y descripción del modelo mismo.

VI.2 CONSTRUCCION DE LA RED

Con objeto de representar la información del problema se construirá una red, en la cual se numerarán todos los posibles centros de oferta y los centros de demanda. A partir de este momento a estos les llamaremos "nodos" de la red y los identificaremos por el número que se les asigne.

Posteriormente se conectarán los nodos a través de "ramas". Solamente se conectarán aquellos nodos que estén interrelacionados o que puedan llegar a estarlo.

Por supuesto, las "ramas" representan las líneas a través de las cuales se realiza el transporte de productos (ductos, vías férreas, carreteras, etc.), es decir, son las líneas de transporte que conectan una localidad con otra, y se les denominará por $(i-j)$, en donde "i" representa el nodo origen y "j" el nodo destino. Es importante indicar en este momento que tanto "i" como "j" representan a todos los nodos de la red, de tal forma que un nodo puede ser origen y destino, o

sea, centro de oferta y centro de demanda o simplemente un nodo de transporte. De igual forma, es importante notar que por esta misma razón se tiene que las ramas $(i \rightarrow j)$ y $(j \rightarrow i)$ son diferentes, pues las primeras tienen a "i" como origen y a "j" como destino, mientras que las segundas tienen a "j" como origen y a "i" como destino.

Basado en esto, se emplearán los siguientes considerandos para construir la red:

Si de un nodo a otro existe más de una línea de transporte del mismo tipo, sólo se requiere conectarlo por medio de una rama, calculándose la capacidad agregada de las mismas. Por otro lado, si se requiere que de un nodo a otro haya conexión con flujo en ambos sentidos, se deberán colocar dos ramas paralelas con sentidos opuestos.

En la figura 6.1 se muestra una red ejemplo; en ella se indican los nodos y su número, así como el sentido de las ramas.

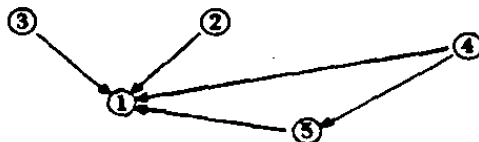


Figura 6.1 Ejemplo de una red

VI.3 DEFINICION DE VARIABLES Y PARAMETROS

VI.3.1 Volumen transportado

$X(i \rightarrow j), k, h, t$ Representa el volumen transportado desde el nodo "i" hasta el nodo "j", es decir, a través de la rama $(i \rightarrow j)$, del tipo "t", del producto "k", en el horizonte "h".

En donde $(i \rightarrow j)$ toma los valores de las ramas existentes en la red.

Donde "k" toma los valores de todos los productos que fluyen a través de la red.

Donde "h" toma los valores de los horizontes de planeación dentro del periodo total del estudio.

Y donde "t" toma los valores de los diferentes tipos de línea por los que se pueden transportar los productos en una rama de la red.

Ramarcamos en este momento que $X(i \rightarrow j), k, h, t$ es diferente a $X(j \rightarrow i), k, h, t$.

VI.3.2 Capacidad de transporte expandida

$Y(i \rightarrow j), h, t$ Representa la capacidad expandida en la rama $(i \rightarrow j)$, del tipo "t", en el horizonte de planeación "h".

En donde $(i-j)$, "h" y "t" toman los mismos valores que en el inciso anterior.

VI.3.3 Oferta de productos

$P_{i,k,h,t}$ Representa la oferta del producto "k" que se tendrá en el nodo "i", durante el horizonte "h" y que saldrá por una rama "t".

En donde "i" toma, como hemos indicado, el valor de todos los nodos; "k" el de todos los productos, "h" el de los horizontes de planeación y "t" el de los tipos de línea.

La oferta será desconocida para todas aquellas localidades que se consideran como lugares posibles de hacer la localización de los centros de producción y el modelo determinará su valor para cada nodo, producto y horizonte.

Por otro lado, la oferta conocida en todo el análisis para los centros ya existentes, que no contemplan expansión y será conocida para el primer horizonte para los que sí la contemplan. Y, por último, la oferta será de cero para los nodos de demanda pura.

Se considera nodos de demanda pura a aquellos en los cuales sólo existe demanda de productos, es decir, no existe produc

ción ni oferta.

VI.3.4 Demanda de productos

$D_{i,k,h,t}$ Representa la demanda del producto "k" que se tendrá en el nodo "i", durante el horizonte "h" y que saldrá por una rama "t".

En donde "i" toma los valores de todos los nodos; "k" el de todos los productos "h" el de los horizontes y "t" los tipos de línea.

La variable $D_{i,k,h,t}$ será conocida en todos los nodos de la red, para cada uno de los productos y durante todos los horizontes de análisis, ya que es la variable que se debe satisfacer.

VI.3.5 Capacidad instalada

$K_{(i-j),h,t}$ Representa la capacidad instalada en volumen, en la rama (i-j), al inicio del horizonte "h", en las ramas de tipo "t".

En donde $(i \rightarrow j)$ toma todos los valores de las ramas existentes, "h" los horizontes de planeación y "t" los tipos de línea.

Para el inicio del primer horizonte se tendrá la capacidad instalada en la actualidad, dato conocido. Sin embargo, para los siguientes horizontes, se tendrá la capacidad final del horizonte anterior, que será determinada por el modelo sumando la capacidad inicial más las expansiones que se requieren.

VI.3.6 Costo de instalación

$I (i \rightarrow j), t$ Representa el costo total unitario de instalación, necesario para la rama $(i \rightarrow j)$, del tipo "t".

El modelo sólo considera este costo, si se agregan instalaciones nuevas y estará en proporción a las mismas.

El costo unitario de instalación viene dado en pesos por unidad (\$/unidad).

Para nuestro problema, el costo total de instalación está compuesto por:

1. Costo de adquisición e instalación de la tubería

Este costo incluye lo relativo a la instalación de líneas, como sería el derecho de vía, trazo y nivelación del terreno, la excavación de la zanja, el transporte de los ductos, así como el costo mismo de los tubos, inspecciones, etc.

2. Costo de adquisición e instalación de equipo de bombeo

Este costo incluye el costo de las bombas, los motores eléctricos, de combustión interna o turbomotores, fletes, gastos aduanales, instrumentación, controles, equipos auxiliares, subestación eléctrica, ingeniería, etc.

3. Costo de adquisición de terrenos y servicios auxiliares

Este costo considera varios factores, como la superficie de terreno que se requiere por estación de bombeo, el costo por metro cuadrado del tipo de terreno, del lugar geográfico donde se encuentre el terreno, así como la disponibilidad de servicios auxiliares, como agua, energía eléctrica o combustibles y sus costos.

VI.3.7 Costo de operación

VI.3.7.1 Costos de operación anual

CA_{i+j}, t Representa el costo unitario total de operar las instalaciones, para el producto "k", a través de la rama (i+j), del tipo "t", durante un año.

El modelo considera este costo en proporción directa al flujo de productos a través de cada una de las ramas de la red, de cada tipo.

El costo de operación unitario está dado en (\$/unidad-año).

En este problema los costos totales de operación incluyen:

1. Mantenimiento de la línea

El costo de mantenimiento de la línea estará en proporción directa de las instalaciones de la línea y estará en función del tamaño y tipo de las mismas.

2. Consumo de energía

El costo de consumo de combustible o energía depende del tipo de motor que se utilice para accionar las bombas, las cuales pueden estar acopladas a motores eléctricos, de combus-

ción interna o turbomotores.

3. Refacciones y lubricantes

Los costos de refacciones y lubricantes se determinan en base al costo de adquisición e instalación del equipo de bombeo y considera las necesidades estimadas del mismo durante un año.

4. Mano de obra

Los costos de mano de obra se determinan con base en los salarios y prestaciones del personal de operación y mantenimiento. Este personal será asignado en función del tamaño y tipo del equipo.

VI.3.7.2 Costos de operación a valor presente

$C(i+j), k, t$ Representa el costo unitario total de operar las instalaciones necesarias para el producto "k" a través de la rama $(i+j)$, del tipo "t"; durante todo el análisis, a valor presente.

Como se puede observar, los costos de operación son unitarios en función del volumen manejado, pero están dados en pesos por año ($\$/unidad-año$), y los costos de instalación son también unitarios, pero están en valor presente ($\$/unidad$),

lo que impide sumar ambos para así poder obtener el costo total o la inversión total necesaria en nuestro periodo de planeación.

De tal forma que es necesario unificar los flujos de inversión, ya que unos son anuales y los otros están en valor presente; consideramos más representativo presentar todo en valor presente (\$/unidad). Con esta finalidad utilizaremos el factor "G".

El factor "G":

G Representa el factor por el que se deben multiplicar los costos anuales de operación para pasarlos a valor presente.

Y donde podemos decir que el factor "G" vendrá dado en (1/año), lo que hará que el costo de operación tenga unidades de (\$/unidad), es decir, esté en valor presente.

El factor "G" se calculará en base a las fórmulas de las matemáticas financieras para convertir flujos anuales, es decir anualidades, en un solo flujo de valor presente, de tal forma que:

$$V_p = a \frac{1 - \left(\frac{1}{1+i}\right)}{i} \quad (6.1)$$

En donde V_p representa el valor presente de las anualidades "a", durante "n" periodos y a una tasa de interés compuesto anual "i". De tal forma que,

$$G = \frac{1 - \frac{1}{1+i}^n}{i} \quad (6.2)$$

Estos son los costos empleados en el modelo; como es obvio, se considera un comportamiento lineal de los mismos y que sean constantes durante todo el estudio. Se pasa ahora al desarrollo de la función objetivo y las restricciones.

VI.4 LA FUNCION OBJETIVO Y SUS RESTRICCIONES

La función objetivo es la de minimizar el costo total de instalación y operación de las mismas, cumpliendo por supuesto con las necesidades de las mismas.

La función objetivo será Min Z, donde "Z" será igual al costo de instalaciones nuevas (I), más el costo de operación de las mismas a valor presente durante el periodo de estudio (C). De tal forma que:

$$\text{Min } Z = I + C \quad (6.3)$$

para,

$$I = \sum_i \sum_j \sum_h \sum_t I(i+j), t Y(i+j), h, t \quad (6.4)$$

Que representa la sumatoria de todas las expansiones en cada

rama, de cada tipo, en cada horizonte por el costo unitario de instalación de cada rama.

En donde "i" y "j" tomarán todos los valores de los nodos y sólo se tomarán en cuenta aquellos para los cuales exista la rama (i-j) en la red. Y "h" tomará los valores de los diferentes horizontes, y "t" los diferentes tipos de línea.

Por otro lado tenemos el costo de operación, que está formado por:

$$C = \sum_i \sum_j \sum_k \sum_h \sum_t C_{(i-j),k,t} X_{(i-j),k,h,t} \quad (6.5)$$

De tal forma que representa la sumatoria de todos los costos unitarios de operación de las ramas (i-j), por el volumen transportado en las mismas, de cada producto, en cada horizonte para cada tipo de línea.

Quedando entonces nuestra función objetivo:

$$\begin{aligned} \text{Min } E = & \sum_i \sum_j \sum_h \sum_t I_{(i-j),t} Y_{(i-j),h,t} + \dots \\ & \dots + \sum_i \sum_j \sum_k \sum_h \sum_t C_{(i-j),t} X_{(i-j),k,h,t} \end{aligned} \quad (6.6)$$

sujeta a las siguientes restricciones.

VI.4.1 Restricciones

Se considerarán tres tipos de restricciones:

1. Restricciones de flujo
2. Restricciones de capacidad
3. Restricciones de proceso

1. Restricciones de flujo

Este primer conjunto de restricciones tiene el fin de mantener el balance de flujo de cada producto "k", en cada nodo "i", a través de cada horizonte "h".

Esta restricción se aplica a todos los nodos de la red.

Para hacer el balance en cada nodo, consideraremos el diagrama de la figura 6.2.

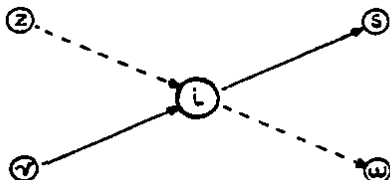


Figura 6.2

en donde no existen pérdidas por proceso; se tendrá entonces que la suma de los flujos que entran, es decir, $v + z$ será igual a la suma de los flujos que salen, $s + w$, de tal forma que:

$$v + z = s + w \quad (6.7)$$

En donde los flujos v y s pertenecen a la red del problema que se esté estudiando, y los flujos z y w son externos a la misma.

De tal manera que podemos decir que z representa a la oferta o a la producción que se tiene en un nodo de cada producto y en todos los horizontes, a lo que hemos llamado $P_{i,k,h,t}$.

De igual forma, w puede representar a la demanda de cada producto en cada horizonte, en un nodo, y esto lo hemos llamado $D_{i,k,h,t}$.

Por otro lado, v será la sumatoria de todas las cantidades que fluyen a través de las ramas del tipo "t", que tienen como destino el nodo "i", y como origen todos los valores de "j", siempre y cuando las ramas (j+i) existan en la red, para cada producto "k", en cada horizonte "h", lo que se representa por:

$$\sum_j X_{(j+i),k,h,t}$$

Y por último, la s será la sumatoria de todas las cantidades que fluyen a través de las ramas del tipo "t", que tienen como origen al nodo "i", y como destino todos los valores de "j", siempre y cuando las ramas (i+j) existan en la red, para cada producto "k", en cada horizonte "h", lo que se representa por:

$$\sum_j X_{(i+j),k,h,t}$$

De tal forma que si sustituimos los valores obtenidos en la ecuación 6.1, tendremos:

$$\sum_j X_{(j+i),k,h,t} + P_{i,k,h,t} = \sum_j X_{(i+j),k,h,t} + D_{i,k,h,t} \quad (6.8)$$

Para cada "i", de cada "k" en cada "h" y del tipo "t".

Esta será nuestra ecuación general de flujo, y variará dependiendo del tipo de nodo. De tal forma que, como la programación lineal lo exige, se tenga siempre del lado derecho de la igualdad a las variables y del izquierdo a los datos conocidos.

2. Restricciones de capacidad

Este conjunto de restricciones tiene dos finalidades: la primera de ellas es determinar los incrementos en la capacidad de transporte al finalizar cada horizonte de análisis, y la segunda es la de hacer al modelo que utilice, en cuanto sea posible, la capacidad instalada al inicio de cada horizonte.

Para determinar estas restricciones, se toman las siguientes consideraciones.

En primer término, como se ha mencionado, la capacidad final en una rama (i+j) al final de un horizonte "h" será igual a la capacidad inicial de la misma rama para el siguiente hori

zonte, "h + 1".

Por lo tanto, se puede decir que la capacidad inicial en "h + 1" será igual a la capacidad inicial en "h", más la capacidad expandida en el mismo horizonte , para la misma rama; de tal forma que:

$$K(i \rightarrow j), h+1, t = K(i \rightarrow j), h, t + Y(i \rightarrow j), h+1, t \quad (6.9)$$

Como la capacidad inicial es conocida para los diferentes tipos de líneas, entonces se puede plantear nuestra primera restricción de capacidad de la siguiente manera:

$$K(i \rightarrow j), h+1, t - Y(i \rightarrow j), h+1, t = K(i \rightarrow j), h, t \quad (6.10)$$

Para cada rama, horizonte y tipo de línea.

Por otro lado, como se ha indicado, la capacidad final del horizonte "h", forzosamente deberá ser mayor o igual a la cantidad de flujo transportado en la misma rama (i → j), del mismo tipo "t", en el mismo horizonte "h" y para la suma de todos los productos "k".

$$K(i \rightarrow j), h, t \Rightarrow \sum_K X(i \rightarrow j), k, h, t \quad (6.11)$$

De tal forma que podemos plantear la segunda restricción de capacidad de la siguiente manera:

$$K(i \rightarrow j), h, t - \sum_K X(i \rightarrow j), k, h, t \Rightarrow 0 \quad (6.12)$$

Para cada rama, horizonte y tipo de línea.

Ambas restricciones garantizan que se determine la capacidad necesaria para satisfacer la demanda de la red.

3. Restricciones de proceso

Esta limitante cuenta solamente con una restricción y sólo se empleará para los nodos de proceso. Se consideran nodos de proceso aquellos en los cuales exista la posibilidad de realizar transformaciones de materia prima a producto terminado.

Este conjunto de restricciones se refiere al cumplimiento de la matriz tecnológica de transformación de productos.

La matriz da un factor de conversión que se emplea para determinar cuánto se requiere de materia prima para obtener una unidad de producto terminado; por lo tanto, si se multiplica el factor de conversión "F" por la cantidad de producto terminado, se obtiene el volumen de materia prima requerida:

$$X(i \rightarrow j), k', h, t = F \quad X(i \rightarrow j), k, h, t \quad (6.13)$$

En donde k' representa la materia prima y "k" el producto terminado.

Esta igualdad se debe incorporar en las restricciones del balance, únicamente para cuando "k" toma el valor que corres-

ponde a la materia prima, de la siguiente manera:

$$\sum_j K(j \rightarrow i), h, t = \sum_j X(i \rightarrow j), k', h, t + \sum_k \sum_j F X(i \rightarrow j), k, h, t$$

(6.14)

En donde k' representa la materia prima, "k" el producto terminado y "F" irá tomando valores correspondientes para cada producto.

Esta igualdad sustituirá a la ecuación de balance de flujo en todos los nodos que sean de proceso y solamente para cuando "k" tome el valor que corresponda a la materia prima.

Esta restricción permitirá que los nodos en los cuales se estudie la posibilidad de instalar un centro de producción, puedan funcionar como nodos de producción y también como nodos de traspaso tanto de materias primas como de productos terminados.

Hasta aquí la descripción del modelo general, y se quieren presentar unos comentarios generales de cómo el modelo se podría aplicar a otros problemas semejantes.

- La capacidad no solamente tiene que referirse a la capacidad de transporte, sino que podrá incluir en algunos casos la capacidad de proceso.
- Se puede contemplar, de igual manera, la introducción de

volúmenes de productos terminados en diferentes puntos de la red, que pueden ser procesados en puntos fuera de la misma, considerando el costo de los mismos en cada punto.

- Por último, el modelo puede contemplar, también, el costo de instalaciones productoras, es decir de la planta industrial (como es un modelo lineal, no puede considerar economías de escala). Esto se hará mediante la introducción de un valor especial para el subíndice "t", que se denominará línea de producción.

Con esto se concluye la presentación general del modelo matemático. Esta descripción general da una idea de las adaptaciones que puede sufrir el modelo para cada caso en que se aplique. Como es obvio, este modelo se modificará en base a las características especiales de cada problema y de los conceptos que intervienen en él. En esta presentación se observan los conceptos especiales para la industria petrolera.

CAPITULO VII

APLICACION DEL MODELO DE
PROGRAMACION LINEAL

En este capítulo, en primer término, se obtendrán los parámetros en base al modelo general desarrollado en el capítulo anterior y a la información presentada en los que le precedieron, para posteriormente construir el modelo con datos y para finalmente pasar a la presentación de los resultados obtenidos.

VII.1 OBTENCION DE LOS VALORES DE LOS PARAMETROS

VII.1.1 Nodos, ramas, productos, horizontes, tipos y red

a) NODOS. En la información presentada en los capítulos III y IV se determinaron las localidades que intervienen en el estudio. En la siguiente tabla (7.1), se muestra la lista de los nodos con su número respectivo.

b) RAMAS. De igual forma también se determinaron las líneas de interrelación. En la tabla 7.2 se muestran las líneas, a qué rama corresponden y la longitud calculada para el tendido de las mismas.

1. Azcapotzalco, D. F.
2. Tula, Hgo.
3. Venta de Carpio, Edo. de México
4. Ciudad Sahagun, Edo. de México
5. Poza Rica, Ver.
6. Apizaco, Tlax.
7. Huamantla, Tlax.
8. Tlaxcala, Tlax.
9. San Martín Texmelucan, Pue.
10. San Pedro Cholula, Pue.
11. Puebla, Pue. (Panzacola)
12. San Pablo del Monte, Tlax.
13. Minatitlán, Ver. (Golfo)

TABLA 7.1 NODOS

c) RED. De tal forma que empleando los considerandos para la construcción de la red del modelo, se prosiguió a elaborar la red, obteniendo la figura 7.1.

d) PRODUCTOS. Con respecto a los productos "k" que se consideraran en el modelo para nuestro problema, serán:

Ducto	Rama (-)	Longitud (km)
Tula - Venta de Carpio	2 - 3	51
Venta de Carpio - Azcapotzalco	3 - 1	31
Venta de Carpio - Tula	3 - 2	51
Ciudad Sahagun - Venta de Carpio	4 - 3	49
Ciudad Sahagun - Apizaco	4 - 6	58
Poza Rica - Ciudad Sahagun	5 - 4	164
Apizaco - Ciudad Sahagun	6 - 4	58
Apizaco - Huamantla	6 - 7	18
Apizaco - Tlaxcala	6 - 8	13
Huamantla - Apizaco	7 - 6	18
Tlaxcala - Apizaco	8 - 6	13
Tlaxcala - Puebla	8 - 11	27
Texmelucan - Venta de Carpio	9 - 3	84
Cholula - Puebla	10 - 11	8
Puebla - Tlaxcala	11 - 8	27
Puebla - Texmelucan	11 - 9	34
Puebla - Cholula	11 - 10	8
Puebla - San Pablo del Monte	11 - 12	4
San Pablo del Monte - Puebla	12 - 11	4
Golfo - Puebla	13 - 11	442

TABLA 7.2 RAMAS

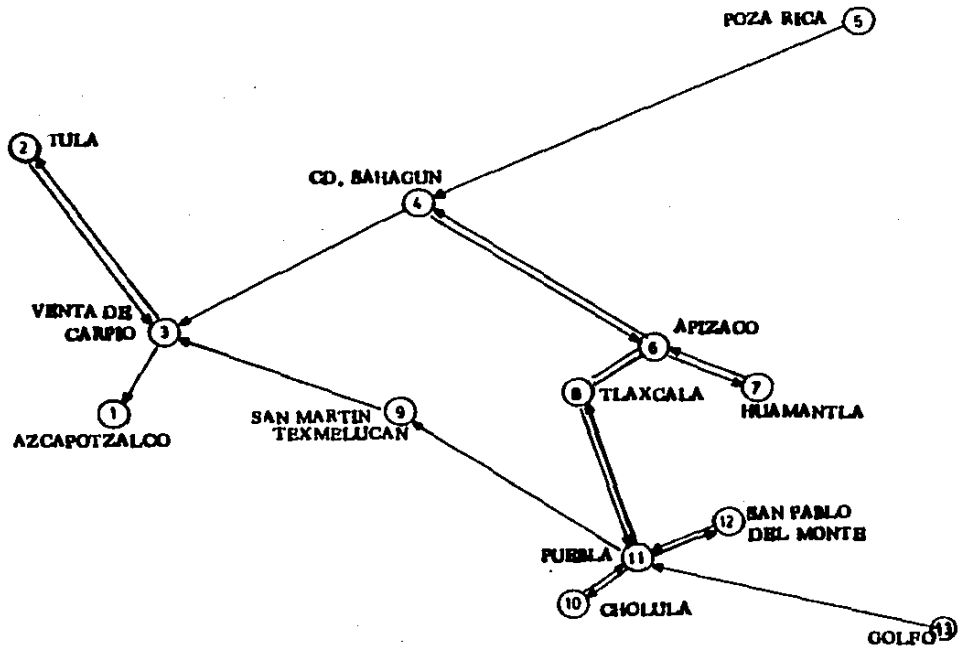


FIG. 7.1 RED DEL PROBLEMA

- (1) = Gasolina
- (2) = Diesel
- (3) = Turbosina
- (4) = Otros
- (5) = Petróleo crudo

Como ya se mencionó anteriormente, estos productos representan aproximadamente el 85% del consumo de petrolíferos en el área de estudio, y sólo se excluye el combustóleo, pues éste no es un fluido newtoniano.

e) HORIZONTES. El periodo de estudio que contempla este proyecto será de 13 años, dividido en dos partes fundamentales. La primera de ellas es la de preoperación de las instalaciones (1987-1990) y la segunda es la de operación de las instalaciones (1990-2000).

Este periodo fue partido en los siguientes horizontes "h" de planeación:

- (1) = 1987 - 1990
- (2) = 1990 - 1995
- (3) = 1995 - 2000

f) TIPOS DE RAMA. Se consideran dos tipos de líneas de transporte de productos, ya que todos los productos termina-

dos se transportan por el mismo tipo de línea, es decir, los poliductos y la materia prima es única y se transporta por el otro tipo de línea, de tal forma que:

(1) = Poliductos

(2) = Oleoductos

De aquí en adelante se hará referencia a tipo uno para poliductos y a líneas tipo dos para oleoductos.

VII.1.2 OFERTA POR NODO, PRODUCTO Y HORIZONTE

La variable $p_{i,k,h,t}$ solamente será conocida para el nodo uno y será determinada por el modelo para los demás nodos, de tal forma que toma los siguientes valores en MBD para el primer nodo:

$p_{1,1,1,1}$	=	36.67
$p_{1,2,1,1}$	=	18.96
$p_{1,3,1,1}$	=	5.86
$p_{1,4,1,1}$	=	6.10
$p_{1,5,1,2}$	=	0
$p_{1,1,2,1}$	=	36.67
$p_{1,2,2,1}$	=	18.96
$p_{1,3,2,1}$	=	5.86
$p_{1,4,2,1}$	=	6.10
$p_{1,5,2,2}$	=	0
$p_{1,1,3,1}$	=	0
$p_{1,2,3,1}$	=	0
$p_{1,3,3,1}$	=	0
$p_{1,4,3,1}$	=	0
$p_{1,5,3,2}$	=	0

TABLA 7.3

VII.1.3 Demanda por nodo, producto y horizonte

En la tabla 7.4 se muestran los valores de las demandas en MBD, conforme a la variable $D_{i,k,h,t}$ para el primer nodo.

D 1,1,1,1	=	121.05
D 1,2,1,1	=	45.33
D 1,3,1,1	=	13.14
D 1,4,1,1	=	14.66
D 1,5,1,2	=	100.00
D 1,1,2,1	=	154.94
D 1,2,2,1	=	60.73
D 1,3,2,1	=	17.32
D 1,4,2,1	=	19.33
D 1,5,2,2	=	100.00
D 1,1,3,1	=	207.07
D 1,2,3,1	=	91.77
D 1,3,3,1	=	24.86
D 1,4,3,1	=	27.71
D 1,5,3,2	=	0

TABLA 7.4

VII.1.4 Capacidad instalada inicial por rama

En la tabla 7.5 se indican los valores de las cantidades instaladas en MBD al inicio del estudio, para poliductos y oleoductos:

CAPACIDAD DE LOS:

POLIDUCTOS		OLEODUCTOS	
K (2-3)	= 100	K (2-3)	= 0
K (3-1)	= 100	K (3-1)	= 120
K (3-2)	= 0	K (3-2)	= 155
K (4-3)	= 50	K (4-3)	= 255
K (4-6)	= 0	K (4-6)	= 0
K (5-4)	= 50	K (5-4)	= 255
K (6-4)	= 0	K (6-4)	= 0
K (6-7)	= 0	K (6-7)	= 0
K (6-8)	= 0	K (6-8)	= 0
K (7-6)	= 0	K (7-6)	= 0
K (8-6)	= 0	K (8-6)	= 0
K (8-11)	= 0	K (8-11)	= 0
K (9-3)	= 180	K (9-3)	= 150
K (10-11)	= 0	K (10-11)	= 0
K (11-8)	= 0	K (11-8)	= 0
K (11-9)	= 180	K (11-9)	= 150
K (11-10)	= 0	K (11-10)	= 0
K (11-12)	= 0	K (11-12)	= 0
K (12-11)	= 0	K (12-11)	= 0
K (13-11)	= 180	K (13-11)	= 150

TABLA 7.5

VII.1.5 Costos de instalación

Los costos de instalación se determinaron siguiendo los criterios de la gufa de cálculo para líneas de conducción para transporte de hidrocarburos líquidos, de PEMEX.

1. Costo de adquisición e instalación de tubería (CAIT)

Este costo está calculado en base a los datos de la tabla editada por PEMEX, que es el resultado de un análisis de costo por metro de tubería enterrada, considerando 70% de material A (tierra) y 30% de material B (roca), y contempla los siguientes conceptos:

1. Trazo y nivelación
2. Apertura del derecho de vía
3. Terracerías en DDV
4. Excavación en tierra
5. Excavación en roca
6. Transporte y tendido de tubo
7. Soldadura
8. Tapado
9. Prueba hidrostática
10. Diablos
11. Costo de tubo
12. Limpieza, esmaltado y bajado

Con objeto de adaptarlo a este problema, se calculó el costo por kilómetro y se desarrolla la tabla 7.6, en donde se muestra el costo por adquisición e instalación de tubería, para cada rama de la red.

Rama	Longitud (KM)	CAIT (MS)
2 - 3	51.00	2152.05
3 - 1	31.00	1308.11
3 - 2	51.00	2152.05
4 - 3	49.00	2067.66
4 - 6	58.00	2447.43
5 - 4	164.00	6920.33
6 - 4	58.00	2447.43
6 - 7	18.00	759.55
6 - 8	13.00	548.56
7 - 6	18.00	759.55
8 - 6	13.00	548.56
8 - 11	27.00	1139.32
9 - 3	84.00	3544.56
10 - 11	8.00	337.58
11 - 8	27.00	1139.32
11 - 9	34.00	1434.70
11 - 10	8.00	337.58
11 - 12	4.00	168.79
12 - 11	4.00	168.79
13 - 11	440.00	18566.73

**TABLA 7.6 COSTO DE ADQUISICION
INSTALACION DE TUBERIA**

**2. Costo de adquisición e instalación
del equipo de bombeo (CAIB)**

Estos costos se obtienen considerando la variación de la in
versión por potencia instalada de bombas con motor eléctric
co desde 250 a 4000 HP. A continuación se muestran los con
ceptos que se consideran:

1. Bombas con motor eléctrico	\$ 60,358
2. Fletes y gastos aduanales	1,795
3. Instrumentos y controles	4,568
4. Equipos auxiliares	4,241
5. Mano de obra de instalación	7,341
6. Ingeniería y administración	3,260
7. Subestación eléctrica	<u>79,275</u>
	\$ 159,840

Este es el costo promedio que se tiene por HP instalado. De tal forma que se tendrá la tabla 7.7 de costos por este concepto, para cada rama de la red.

Los cálculos para obtener la potencia necesaria por rama, se muestran en el apéndice II.

3. Costo de adquisición de terrenos y servicios auxiliares (CATSA)

Como ya se indicó, para la evaluación de estos costos se deben considerar varios factores, como la superficie del terreno que se requerirá por estación de bombeo, el costo del metro cuadrado, etc.

Petróleos Mexicanos, por experiencia y después de una serie de evaluaciones a proyectos, obtuvo un valor promedio de 610 millones de pesos por estación, por concepto de adquisición

Rama	Potencia		CAIEB	
	Tipo 1 (HP)	Tipo 2 (HP)	Tipo 1 (M\$)	Tipo 2 (M\$)
2 - 3	1469.29	1415.30	234.85	226.22
3 - 1	835.72	802.72	133.58	128.31
3 - 2	1176.80	1110.76	188.10	177.54
4 - 3	855.16	792.33	136.69	126.65
4 - 6	1328.98	1252.72	212.43	200.24
5 - 4	9424.02	9132.35	1506.34	1459.72
6 - 4	1170.36	1087.65	187.07	173.85
6 - 7	665.95	656.57	106.45	104.95
6 - 8	0.00	0.00	0.00	0.00
7 - 6	0.00	0.00	0.00	0.00
8 - 6	583.41	582.41	93.25	93.09
8 - 11	472.26	433.73	75.49	69.33
9 - 3	3479.07	3435.68	556.10	549.16
10 - 11	0.00	0.00	0.00	0.00
11 - 8	718.29	689.88	114.81	110.27
11 - 9	719.20	749.31	114.96	119.77
11 - 10	0.00	0.00	0.00	0.00
11 - 12	331.52	341.44	52.99	54.58
12 - 11	0.00	0.00	0.00	0.00
13 - 11	15004.75	14484.16	2398.37	2315.16

TABLA 7.7 COSTO DE ADQUISICION E
INSTALACION DE EQUIPO DE BOMBEO

de terrenos y servicios auxiliares.

Siguiendo este criterio, se obtiene la tabla 7.8 de costos pa
ra cada rama de la red.

Los cálculos para obtener el número de estaciones de bombeo

Rama	Número de estaciones		CATSA	
	Tipo 1 (-)	Tipo 2 (-)	Tipo 1 (M\$)	Tipo 2 (M\$)
2 - 3	1.00	1.00	610.00	610.00
3 - 1	1.00	1.00	610.00	610.00
3 - 2	1.00	1.00	610.00	610.00
4 - 3	1.00	1.00	610.00	610.00
4 - 6	1.00	1.00	610.00	610.00
5 - 4	4.00	5.00	2440.00	3050.00
6 - 4	1.00	1.00	610.00	610.00
6 - 7	1.00	1.00	610.00	610.00
6 - 8	0.00	0.00	0.00	0.00
7 - 6	0.00	0.00	0.00	0.00
8 - 6	1.00	1.00	610.00	610.00
8 - 11	1.00	1.00	610.00	610.00
9 - 3	2.00	2.00	1220.00	1220.00
10 - 11	0.00	0.00	0.00	0.00
11 - 8	1.00	1.00	610.00	610.00
11 - 9	1.00	1.00	610.00	610.00
11 - 10	0.00	0.00	0.00	0.00
11 - 12	1.00	1.00	610.00	610.00
12 - 11	0.00	0.00	0.00	0.00
13 - 11	6.00	7.00	3660.00	4270.00

TABLA 7.8 COSTO DE TERRENOS
Y SERVICIOS AUXILIARES

se muestran en el apéndice II.

Los costos de instalación se concentran en las tablas 7.9.1 y 7.9.2, para cada tipo de línea y para cada rama de la red.

Rama	P O L I D U C T O S			
	CAIT (M\$)	CAIEB (M\$)	CATSA (M\$)	I (M\$)
2 - 3	2152.05	294.85	610.00	2996.91
3 - 1	1308.11	133.58	610.00	2051.69
3 - 2	2152.05	188.10	610.00	2950.15
4 - 3	2067.66	136.69	610.00	2814.35
4 - 6	2447.43	212.43	610.00	3269.86
5 - 4	6920.33	1506.34	2440.00	10866.67
6 - 4	2447.43	187.07	610.00	3244.50
6 - 7	759.55	106.45	610.00	1475.99
6 - 8	548.56	0.00	0.00	548.56
7 - 6	759.55	0.00	0.00	759.55
8 - 6	548.56	93.25	610.00	1251.82
8 - 11	1139.32	75.49	610.00	1824.81
9 - 3	3544.56	556.10	1220.00	5320.66
10 - 11	337.58	0.00	0.00	337.58
11 - 8	1139.32	114.81	610.00	1864.13
11 - 9	1434.70	114.96	610.00	2159.66
11 - 10	337.58	0.00	0.00	337.58
11 - 12	168.79	52.99	610.00	831.78
12 - 11	168.79	0.00	0.00	168.79
13 - 11	18566.73	2398.37	3660.00	24625.11

TABLA 7.9.1 COSTO DE INSTALACION
PARA LINEAS DEL TIPO 1

VII.1.6 Costos de operación

Los costos de operación se determinaron siguiendo los criterios de la guía para el cálculo de líneas de conducción de hidrocarburos líquidos, de PEMEX.

Rama	OLEODUCTOS			
	CAIT	CAIEB	CAISA	I
2 - 3	2152.05	226.22	610.00	2988.28
3 - 1	1308.11	128.31	610.00	2046.42
3 - 2	2152.05	177.54	610.00	2939.60
4 - 3	2067.66	126.65	610.00	2804.31
4 - 6	2447.43	200.24	610.00	3257.67
5 - 4	6920.33	1459.72	3050.00	11430.05
6 - 4	2447.43	173.85	610.00	3231.28
6 - 7	759.55	104.95	610.00	1474.49
6 - 8	548.56	0.00	0.00	548.56
7 - 6	759.55	0.00	0.00	759.55
8 - 6	548.56	93.09	610.00	1251.66
8 - 11	1139.32	69.33	610.00	1818.65
9 - 3	3544.56	549.16	1220.00	5313.72
10 - 11	337.58	0.00	0.00	337.58
11 - 8	1139.32	110.27	610.00	1859.59
11 - 9	1434.70	119.77	610.00	2164.47
11 - 10	337.58	0.00	0.00	337.58
11 - 12	168.79	54.58	610.00	833.36
12 - 11	168.79	0.00	0.00	168.79
13 - 11	18566.73	2315.16	4270.00	25151.89

TABLA 7.9.2 COSTO DE INSTALACION
PARA LINEAS TIPO 2

1. Mantenimiento de la línea (ML)

Los costos para el mantenimiento de las líneas se consideran del 1% del costo total de la tubería instalada en cada línea. Este valor promedio fue obtenido por experiencia en Petróleos Mexicanos y de la literatura técnica.

Se puede entonces considerar los costos que aparecen en la tabla 7.10, por concepto de mantenimiento de las líneas.

Rama	CAIT (M\$)	ML (M\$/AÑO)
2 - 3	2152.05	21.52
3 - 1	1308.11	13.08
3 - 2	2152.05	21.52
4 - 3	2067.66	20.68
4 - 6	2447.43	24.47
5 - 4	6920.33	69.20
6 - 4	2447.43	24.47
6 - 7	759.55	7.60
6 - 8	548.56	5.49
7 - 6	759.55	7.60
8 - 6	548.56	5.49
8 - 11	1139.32	11.39
9 - 3	3544.56	35.45
10 - 11	337.58	3.38
11 - 8	1139.32	11.39
11 - 9	1434.70	14.35
11 - 10	337.58	3.38
11 - 12	168.79	1.69
12 - 11	168.79	1.69
13 - 11	10566.73	105.67

TABLA 7.10 MANTENIMIENTO DE LINEA

2. Costo por consumo de energía (CCE)

El costo de la energía requerida considera que, conforme al tabulador de la Comisión Federal de Electricidad y la deman-

da máxima mensual, se obtiene un costo de 8.694 \$/kw-hr.

De tal forma que se puede calcular el costo por HP por año, considerando un tiempo de operación del equipo de 365 días continuos. Obtenemos un valor de 56,501.48 \$/HP-año, lo que nos lleva a obtener la tabla 7.11 de costos de consumo de energía para cada rama.

Rama	Potencia		CCE	
	Tipo 1 (HP)	Tipo 2 (HP)	Tipo 1 (M\$/AÑO)	Tipo 2 (M\$/AÑO)
2 - 3	1469.29	1415.30	83.02	79.97
3 - 1	835.72	802.72	47.22	45.35
3 - 2	1176.80	1110.76	66.49	62.76
4 - 3	855.16	792.33	48.32	44.77
4 - 6	1328.98	1252.72	75.09	70.78
5 - 4	9424.02	9132.35	532.50	515.99
6 - 4	1170.36	1087.65	66.13	61.45
6 - 7	665.95	656.57	37.63	37.10
6 - 8	0.00	0.00	0.00	0.00
7 - 6	0.00	0.00	0.00	0.00
8 - 6	583.41	582.41	32.97	32.91
8 - 11	472.26	433.73	26.69	24.51
9 - 3	3479.07	3435.68	196.58	194.12
10 - 11	0.00	0.00	0.00	0.00
11 - 8	718.29	689.88	40.59	38.98
11 - 9	719.20	749.31	40.64	42.34
11 - 10	0.00	0.00	0.00	0.00
11 - 12	331.52	341.44	18.73	19.29
12 - 11	0.00	0.00	0.00	0.00
13 - 11	15004.75	14484.16	847.84	818.38

TABLA 7.11 COSTO POR CONSUMO DE ENERGIA

3. Costo por refacciones y lubricantes (CRL)

Los costos de refacciones y lubricantes se determinan en base al costo de adquisición e instalación del equipo de bombeo, aplicando un índice a esto del 5%, considerando las necesidades del equipo durante un año.

En la tabla 7.12, se muestran estos costos para cada rama.

Rama	CAIEB		CRL	
	Tipo 1 (M\$/AÑO)	Tipo 2 (M\$/AÑO)	Tipo 1 (M\$/AÑO)	Tipo 2 (M\$/AÑO)
2 - 3	234.85	226.22	11.74	11.31
3 - 1	133.58	128.31	6.68	6.42
3 - 2	188.10	177.54	9.41	8.88
4 - 3	136.69	126.65	6.83	6.33
4 - 6	212.43	200.24	10.62	10.01
5 - 4	1506.34	1459.72	75.32	72.99
6 - 4	187.07	173.85	9.35	8.69
6 - 7	106.45	104.95	5.32	5.25
6 - 8	0.00	0.00	0.00	0.00
7 - 6	0.00	0.00	0.00	0.00
8 - 6	93.25	93.09	4.66	4.65
8 - 11	75.49	69.33	3.77	3.47
9 - 3	556.10	549.16	27.80	27.46
10 - 11	0.00	0.00	0.00	0.00
11 - 8	114.81	110.27	5.74	5.51
11 - 9	114.96	119.77	5.75	5.99
11 - 10	0.00	0.00	0.00	0.00
11 - 12	52.99	54.58	2.65	2.73
12 - 11	0.00	0.00	0.00	0.00
13 - 11	2398.37	2315.16	119.92	115.76

**TABLA 7.12 COSTO POR REFACCIONES
Y LUBRICANTES**

4. Costos de mano de obra (CMO)

Los costos de mano de obra son los costos totales al año de salarios y prestaciones del personal por cada estación, y se consideran actualmente de 58 millones de pesos por estación, y se muestran en la tabla 7.13.

Rama	Número de estaciones		Tipo 1 (M\$/AÑO)	Tipo 2 (M\$/AÑO)
	Tipo 1 (-)	Tipo 2 (-)		
2 - 3	1.00	1.00	58.00	58.00
3 - 1	1.00	1.00	58.00	58.00
3 - 2	1.00	1.00	58.00	58.00
4 - 3	1.00	1.00	58.00	58.00
4 - 6	1.00	1.00	58.00	58.00
5 - 4	4.00	5.00	232.00	290.00
6 - 4	1.00	1.00	58.00	58.00
6 - 7	1.00	1.00	58.00	58.00
6 - 8	0.00	0.00	0.00	0.00
7 - 6	0.00	0.00	0.00	0.00
8 - 6	1.00	1.00	58.00	58.00
8 - 11	1.00	1.00	58.00	58.00
9 - 3	2.00	2.00	116.00	116.00
10 - 11	0.00	0.00	0.00	0.00
11 - 8	1.00	1.00	58.00	58.00
11 - 9	1.00	1.00	58.00	58.00
11 - 10	0.00	0.00	0.00	0.00
11 - 12	1.00	1.00	58.00	58.00
12 - 11	0.00	0.00	0.00	0.00
13 - 11	6.00	7.00	348.00	406.00

TABLA 7.13 COSTOS DE MANO DE OBRA

Se presentan en las tablas 7.14.1 y 7.14.2, los costos anuales de operación y los costos de operación en valor presente, para líneas del tipo 1 y del tipo 2.

Rama	P O L I D U C T O S					
	ML (M\$/AÑO)	CCE (M\$/AÑO)	CRL (M\$/AÑO)	CMD (M\$/AÑO)	CA (M\$/AÑO)	C (M\$)
2 - 3	21.52	83.02	11.74	58.00	174.29	1157.25
3 - 1	13.08	47.22	6.68	58.00	124.98	829.88
3 - 2	21.52	66.49	9.41	58.00	155.42	1031.99
4 - 3	20.68	48.32	6.83	58.00	133.83	888.64
4 - 6	24.47	75.09	10.62	58.00	168.19	1116.78
5 - 4	69.20	532.50	75.32	232.00	909.02	6035.92
6 - 4	24.47	66.13	9.35	58.00	157.96	1048.85
6 - 7	7.60	37.63	5.32	58.00	108.55	720.75
6 - 8	5.49	0.00	0.00	0.00	5.49	36.42
7 - 6	7.60	0.00	0.00	0.00	7.60	50.43
8 - 6	5.49	32.97	4.66	58.00	101.11	671.40
8 - 11	11.39	26.69	3.77	58.00	99.85	663.02
9 - 3	35.45	196.58	27.80	116.00	375.83	2495.54
10 - 11	3.38	0.00	0.00	0.00	3.38	22.42
11 - 8	11.39	40.59	5.74	58.00	115.72	768.39
11 - 9	14.35	40.64	5.75	58.00	118.73	788.39
11 - 10	3.38	0.00	0.00	0.00	3.38	22.42
11 - 12	1.69	18.73	2.65	58.00	81.07	538.30
12 - 11	1.69	0.00	0.00	0.00	1.69	11.21
13 - 11	185.67	847.84	119.92	348.00	1501.43	9969.48

7.14.1 COSTOS DE OPERACION PARA
LINEAS TIPO 1

OLEODUCTOS

Rama	ML	CCE	CRL	CMO	CA	C
2 - 3	21.52	79.97	11.31	58.00	170.80	1134.10
3 - 1	13.08	45.35	6.42	58.00	122.85	815.73
3 - 2	21.52	62.76	8.88	58.00	151.16	1003.68
4 - 3	20.68	44.77	6.33	58.00	129.78	861.72
4 - 6	24.47	70.78	10.01	58.00	163.27	1084.09
5 - 4	69.20	515.99	72.99	290.00	948.18	6295.92
6 - 4	24.47	61.45	8.69	58.00	152.62	1013.40
6 - 7	7.60	37.10	5.25	58.00	107.94	716.72
6 - 8	5.49	0.00	0.00	0.00	5.49	36.42
7 - 6	7.60	0.00	0.00	0.00	7.60	50.43
8 - 6	5.49	32.91	4.65	58.00	101.05	670.95
8 - 11	11.39	24.51	3.47	58.00	97.37	646.51
9 - 3	35.48	194.12	27.46	116.00	373.02	2476.88
10 - 11	3.38	0.00	0.00	0.00	3.38	22.42
11 - 8	11.39	38.98	5.51	58.00	113.89	756.20
11 - 9	14.35	42.34	5.99	58.00	120.67	801.27
11 - 10	3.38	0.00	0.00	0.00	3.38	22.42
11 - 12	1.69	19.29	2.73	58.00	81.71	542.54
12 - 11	1.69	0.00	0.00	0.00	1.69	11.21
13 - 11	185.67	818.38	115.75	406.00	1525.80	10131.33

7.14.2 COSTOS DE OPERACION PARA
LINEAS TIPO 2

Para obtener los costos de operación en valor presente, se empleó el factor "G". Este se determinó considerando un periodo de análisis de las instalaciones de 10 años, tiempo en el cual se estima el cierre de la refinería 18 de Marzo, y una tasa de interés del 8.25%, que es la tasa prima preferencial (Prime Rate, mayo de 1987).

Se considera esta tasa debido a que para inversiones de la magnitud como la que contempla este estudio, generalmente se requiere de crédito externo, y las tasas de los mismos son semejantes a la antes mencionada.

De tal forma que se tiene un factor "G" de 6.64 que se emplea en la tabla anterior.

Es importante mencionar en este momento que si se considera el crédito externo o interno, se debe tomar en cuenta el costo del servicio del mismo, el cual incrementaría el costo de la inversión.

Por último, en lo relativo a costos, no resta más que presentar la tabla 7.15, en donde se muestran los costos unitarios, tanto de instalación como de operación a valor presente para cada tipo de línea y para cada rama de la red.

Rama	I		C	
	Tipo 1 (M\$)	Tipo 2 (M\$)	Tipo 1 (M\$)	Tipo 2 (M\$)
2 - 3	29.97	29.88	11.57	11.34
3 - 1	20.52	20.46	8.30	8.16
3 - 2	29.50	29.40	10.32	10.04
4 - 3	28.14	28.04	8.89	8.62
4 - 6	32.70	32.58	11.17	10.84
5 - 4	108.67	114.30	60.36	62.96
6 - 4	32.45	32.31	10.49	10.13
6 - 7	14.76	14.74	7.21	7.17
6 - 8	5.49	5.49	0.36	0.36
7 - 6	7.60	7.60	0.50	0.50
8 - 6	12.52	12.52	6.71	6.71
8 - 11	18.25	18.19	6.63	6.47
9 - 3	53.21	53.14	24.96	24.77
10 - 11	3.38	3.38	0.22	0.22
11 - 8	18.64	18.60	7.68	7.56
11 - 9	21.60	21.64	7.88	8.01
11 - 10	3.38	3.38	0.22	0.22
11 - 12	8.32	8.33	5.38	5.43
12 - 11	1.69	1.69	0.11	0.11
13 - 11	246.25	251.52	99.69	101.31

TABLA 7.15 COSTOS DE INSTALACION
Y OPERACION

VII.2 APLICACION DEL MODELO

Con base en el modelo general y en los parámetros obtenidos, el modelo matemático planteado en base a la forma tradicional de la programación lineal tiene las siguientes características:

VARIABLES:

Variables de volumen	600
Variables de expansión	120
Variables de oferta	390
Variables de demanda	390
Variables de capacidad	<u>120</u>
TOTAL DE VARIABLES	1620

RESTRICCIONES:

Restricciones de flujo	348
Restricciones de capacidad	240
Restricciones de proceso	<u>42</u>
TOTAL DE RESTRICCIONES	630

El modelo fue resuelto en el Centro Académico de Computación de la Universidad de Boston. El paquete de aplicación que se empleó fue "Linear, interactive, discrete optimizer". En este programa está diseñado para resolver problemas de programación lineal y entera en su forma natural.

El programa tiene un tamaño máximo de salida de 499 columnas (variables) y 239 renglones (restricciones más la función objetivo).

Asimismo, el paquete de solución requiere que las variables empleadas tengan un máximo de 8 caracteres (literales o numeros).

ricos) siendo el primero de ellos una letra.

Dadas las particularidades del programa empleado, y por considerarlo más práctico, de este punto en adelante las variables se presentarán sin paréntesis, ni comas, de tal forma que la variable $X(1-2), 1, 2$ se presentará como $X12312$.

En el apéndice III, se muestra el problema como se introdujo a la computadora, en la forma tradicional de la programación lineal.

VII.3 RESULTADOS OBTENIDOS

Dada la cantidad de variables que maneja el modelo, y dentro de éstas el gran número de ellas que por razones obvias tienen valores de cero, en este momento sólo presentaremos aquellas variables que tengan un impacto directo en los resultados de nuestro problema.

A continuación se presenta una lista de los resultados obtenidos en cada horizonte, para las variables de flujo, capacidad, expansión y producción, para pasar en el siguiente capítulo al análisis e interpretación de los resultados.

1) 23371.6172

<u>Variable</u>	<u>Valor</u>
Y2311	26.789963
Y3111	26.789963
X23111	84.579987
X23211	26.369980
X23311	7.280000
X23411	8.559999
X31111	84.579987
X31211	26.369980
X31311	7.280000
X31411	8.559999
X31512	100.000000
X32512	140.416153
X43512	240.416153
X54512	240.416153
P2111	84.579987
P2211	26.369980
P2311	7.280000
P2411	8.559999
P5512	240.416153
K2311	126.789963
K3111	126.789963
K4311	50.000000
K5411	50.000000
K9311	180.000000
K11911	180.000000
K3112	120.000000
K3212	155.000000
K4312	255.000000
K5412	255.000000
K9312	150.000000
K11912	150.000000
K131112	150.000000

TABLA 7.16. RESULTADOS DEL PRIMER HORIZONTE

1) 31905.0977

<u>Variable</u>	<u>Valor</u>
Y2321	9.739288
Y3121	58.149979
X23121	118.469986
X23321	4.819286
X23421	13.230000
X31121	118.469986
X31221	41.769989
X31321	11.459999
X31421	13.230000
X31522	100.000000
X32522	155.000000
X43522	255.000000
X54522	255.000000
X93221	41.769989
X93321	6.640712
X119522	49.426025
X1311522	49.426025
P2121	118.469986
P2321	4.819286
P2421	13.230000
P5522	255.000000
P9221	41.769989
P9321	6.640712
P13522	49.426025
K2321	136.519272
K3121	184.929962
K4321	50.000000
K5421	50.000000
K9321	180.000000
K11921	180.000000
K3122	120.000000
K3222	155.000000
K4322	255.000000
K5422	255.000000
K9322	150.000000
K11922	150.000000
K131122	150.000000

TABLA 7.17. RESULTADOS DEL SEGUNDO HORIZONTE

1) 52688.8867

<u>Variable</u>	<u>Valor</u>
Y2331	71.521759
Y3131	166.480057
Y3232	82.025879
X23131	180.331009
X23431	27.709991
X31131	207.069992
X31231	91.769989
X31331	24.859985
X31431	27.709991
X32532	237.025879
X43532	237.025879
X54532	237.025879
X93131	26.738968
X93231	91.769989
X93331	24.859985
X119532	150.000000
X1311532	150.000000
P2131	180.331009
P2431	27.709991
P5532	237.025879
P9131	26.738968
P9231	91.769989
P9331	24.859985
P13522	150.000000
K2331	208.041000
K3131	351.409912
K4331	50.000000
K5431	50.000000
K9331	180.000000
K11931	150.000000
K3132	120.000000
K3232	237.025879
K4332	255.000000
K5432	255.000000
K9332	150.000000
K11932	150.000000
K131132	150.000000

TABLA 7.18. RESULTADOS DEL TERCER HORIZONTE

CAPITULO VIII

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

VIII.1 ANALISIS DE LOS RESULTADOS Y RECOMENDACIONES

En base a los resultados obtenidos y presentados en el capítulo anterior, se construyeron las gráficas 8.1 a 8.6, en donde se muestra el flujo que siguen los productos en cada horizonte, así como las capacidades de cada línea.

Como se puede observar en la figura 8.1, se recomienda para el primer horizonte se siga empleando a la refinería de Tula, como la principal fuente para cubrir el déficit de producción de la refinería de Ascapotzalco.

Por otro lado, como se puede observar en la figura 8.2, para lograr lo antes mencionado, se deben llevar a cabo ampliaciones en las líneas que unen a Tula con Ascapotzalco; estas ampliaciones son de aproximadamente 27 MBD, que es en lo que se incrementa el déficit de la refinería "18 de Marzo" para el periodo uno.

Es importante notar en este punto que el centro de abastecimiento de crudo es Poza Rica, como hasta ahora se ha llevado

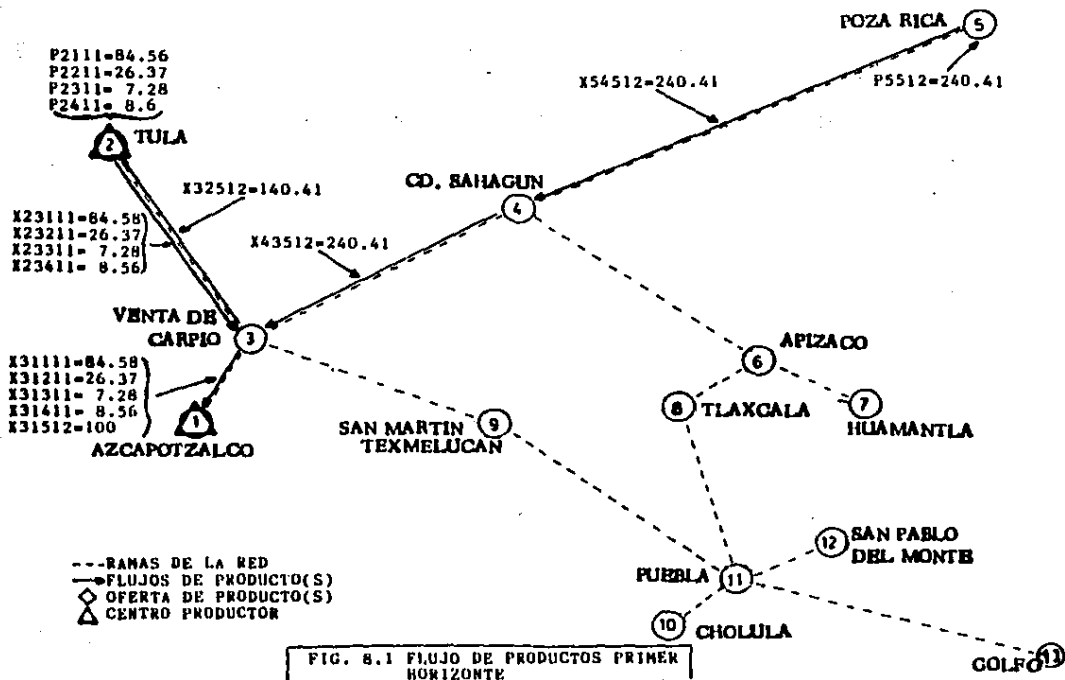


FIG. 8.1 FLUJO DE PRODUCTOS PRIMER HORIZONTE

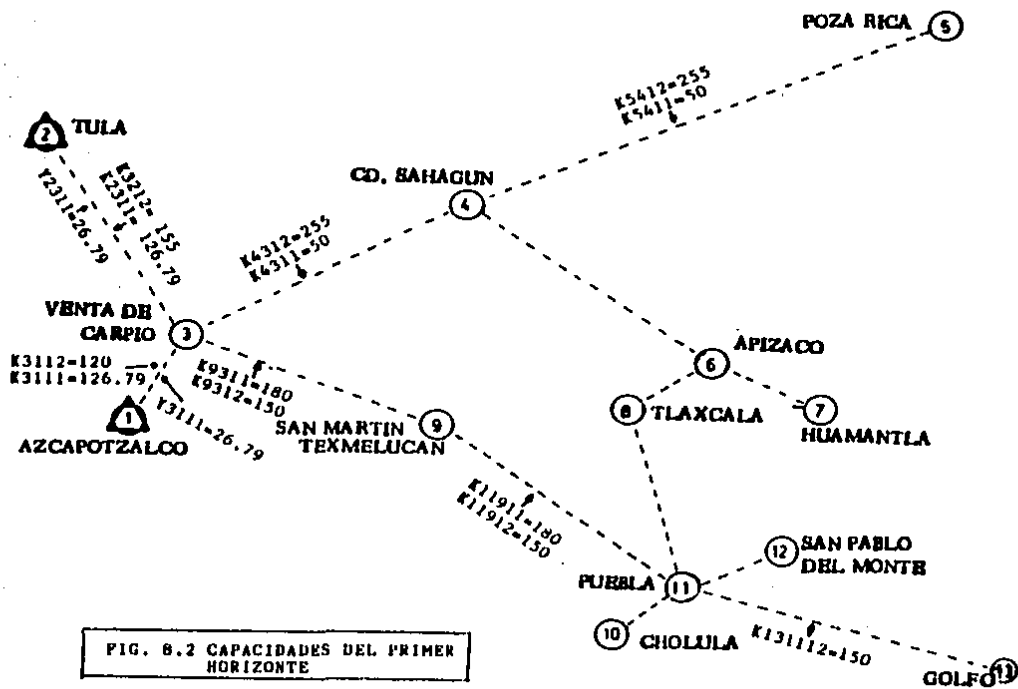


FIG. 8.2 CAPACIDADES DEL PRIMER HORIZONTE

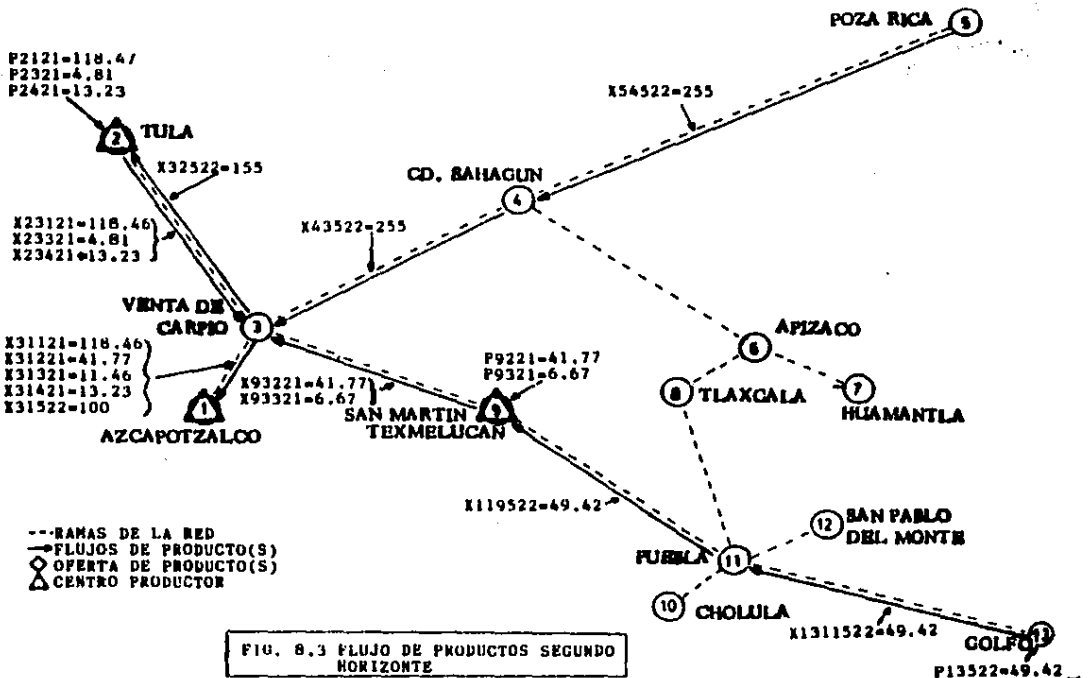
a cabo por PEMEX.

En el segundo horizonte, como se pueda observar en la figura 8.3, se sigue empleando a la refinería de Tula como el más importante centro abastecedor de petrolíferos, ya que está enviando aproximadamente 137 MBD que representan el 53% de la demanda total de petrolíferos en Ascapotzalco en este horizonte.

Más importante aún, también se observa que se recomienda la introducción de un nuevo centro de refinación, para el abastecimiento del área metropolitana. Este centro estaría colocado en las inmediaciones de San Martín Texmelucan, Pue.

Igualmente se ve que su oferta de petrolíferos es de 48 MBD, por lo cual requerirá este centro de una cantidad similar, 49.42 MBD de crudo para procesar. El abastecimiento se hará de los campos del Golfo, aprovechando las instalaciones de oleoductos ya existentes.

Asimismo, este nuevo centro de producción empleará, como vemos en la figura 8.4, las instalaciones de poliductos ya existentes hasta Venta de Carpio. A partir de este punto se tendrán que volver a ampliar las líneas de conducción de petrolíferos. Es importante notar que los productos que elabora este centro son diesel y turbosina, mientras que la gaso-



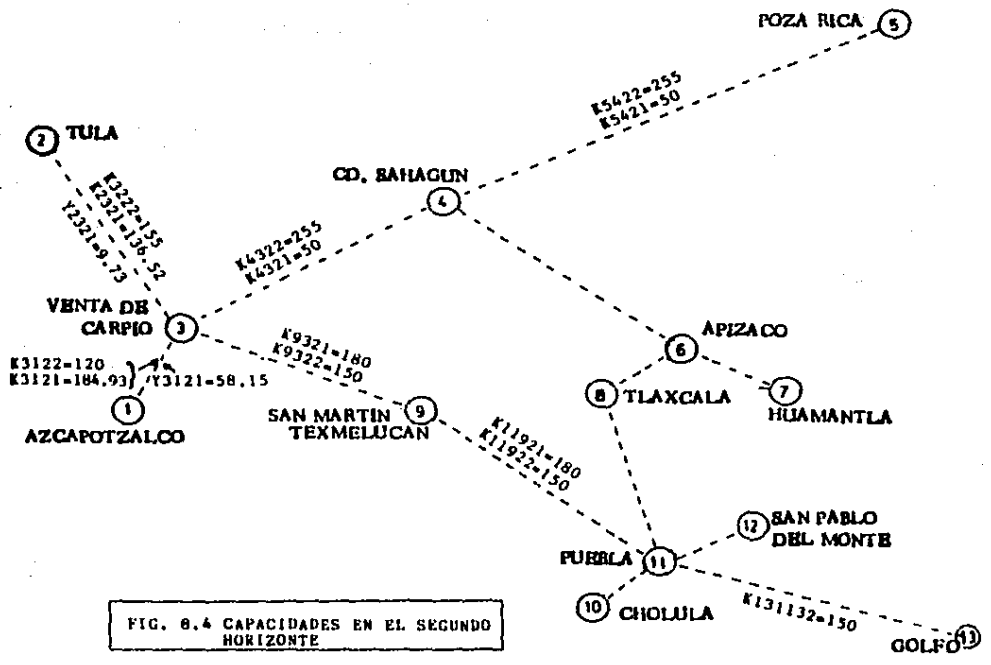


FIG. 8.4 CAPACIDADES EN EL SEGUNDO HORIZONTE

lina y demás petrolíferos se seguirán surtiendo de Tula y con la producción de la refinería de Azcapotzalco.

Por último, se observa que la capacidad a incrementar entre Tula y Venta de Carpio es menor a 10 MBD, la cual se puede considerar como pequeña, por lo que se recomienda analizar la posibilidad de que desde el primer horizonte se incremente la capacidad requerida en ambos, con el objeto de economizar en los costos.

En el tercer horizonte, ya no se contempla la producción de la refinería de Azcapotzalco, por lo cual además del incremento natural de demanda de petrolíferos se tiene un decremento en la capacidad de producción, lo que provoca que se disparen los volúmenes de expansión.

Se observa en la figura 8.5 que la refinería de Tula sigue funcionando como importante centro abastecedor; aproximadamente produce el 60% de los petrolíferos requeridos. Por tanto, la capacidad de transporte tanto de petrolíferos como de crudo se tiene que aumentar.

Se puede observar que siguen surtiendo básicamente gasolina y los demás petrolíferos. Asimismo se ve que todo el flujo de crudo que viene de Poza Rica se desvía a Tula para sustituir el cierre de Azcapotzalco.

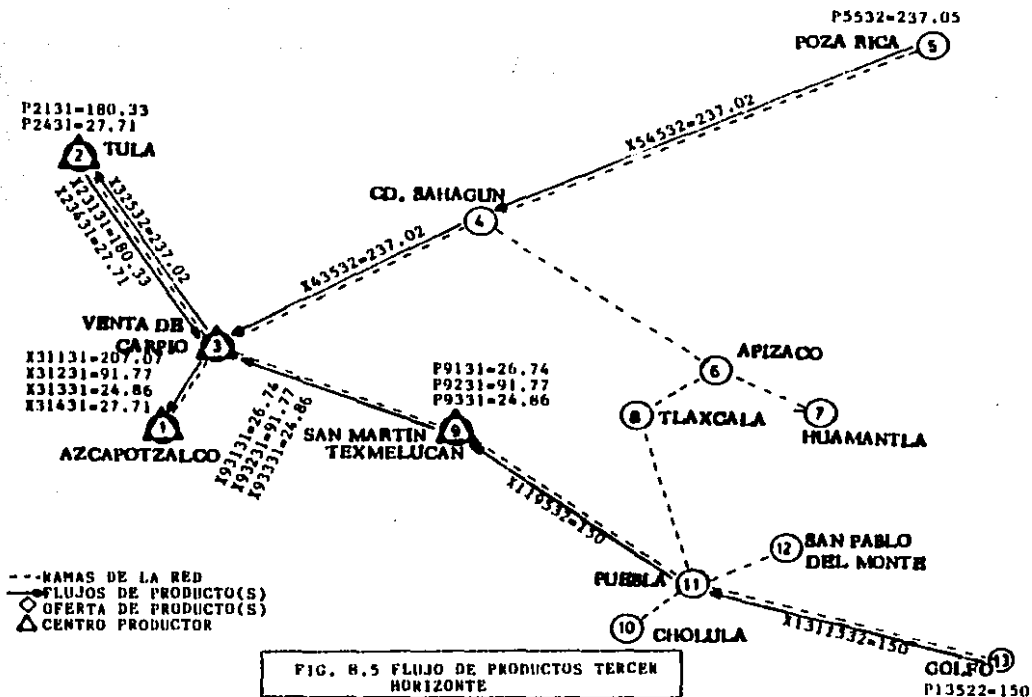


FIG. 8.5 FLUJO DE PRODUCTOS TERCEN HORIZONTE

Por otro lado, se puede notar que el nuevo centro de San Martín Texmelucan también incrementa su producción 300% y que la capacidad no se aumenta más debido a que se está empleando en su totalidad la capacidad de transporte de crudo del Golfo a este último centro.

Con objeto de aprovechar más las instalaciones que PEMEX tiene, se recomienda que se contemple la posibilidad de convertir el poliducto que va del Golfo a Texmelucan y transformarlo en un oleoducto; esto permitiría que se aumentara más la capacidad de San Martín, sin incurrir en grandes costos de instalación de ductos. Asimismo, se podría abastecer localidades como Puebla y Orizaba desde este nuevo centro de producción. Para considerar esta alternativa, se tendría que hacer un estudio más detallado.

Por otro lado, se puede contemplar la posibilidad de transformar el oleoducto que llega a Azcapotzalco (figura 8.6), en un poliducto con las consecuentes reducciones en inversión en instalaciones.

Debido a la problemática que implica la construcción de líneas dentro de la ciudad de México, se podría analizar asimismo la posibilidad de instalar un anillo de terminales distribuidoras en la periferia de la ciudad, con los consecuentes beneficios en operación y en seguridad para la po-

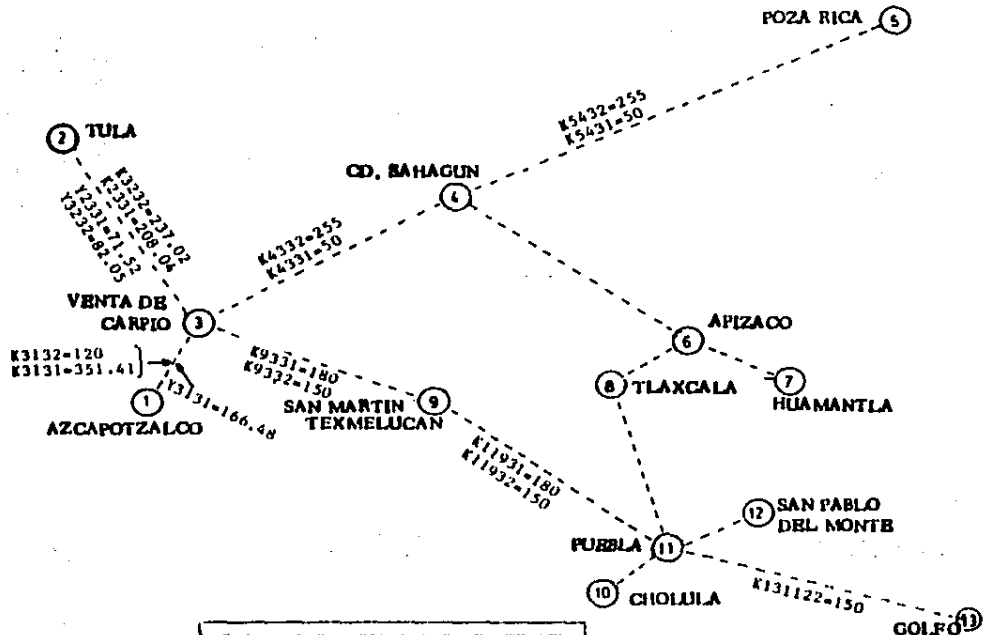


FIG. 8.6 CAPACIDAD PARA EL TERCER HORIZONTE.

blación. Por supuesto que esta alternativa implica el desembolso de grandes cantidades de dinero, pero se puede explorar.

En fin, son un sinnúmero las posibilidades que se generan en una alternativa, y esto es precisamente lo que se trata de plantear desde el inicio de este trabajo.

VIII.2 CONCLUSIONES

Como se ha observado en los capítulos anteriores, el modelo matemático obtuvo el resultado de instalar los centros de producción en las localidades de Tula, Hgo. y San Martín Texmelucan, Pue. Esta solución concuerda con los objetivos al iniciar este estudio. En primer término se ve que los resultados obtenidos cumplen con la idea de propiciar el desarrollo económico de otras regiones del país. Es interesante notar que en ambas localidades PEMEX tiene grandes instalaciones; en Tula se encuentra la refinería Miguel Hidalgo, y en Texmelucan se cuenta con un importante complejo petroquímico.

Esto lleva a pensar que el impacto negativo que pueda tener la instalación de un centro de refinación (por su magnitud) no será tan importante en este caso, ya que sería un proceso de cambio gradual, lo que haría más fácil la adapta-

ción de la población al centro productor.

Por otro lado, se cumplió con el requisito fundamental de plantear una alternativa de solución que garantizara la oferta de petrolíferos y contemplara el cierre de las instalaciones de proceso de petrolíferos en Azcapotzalco.

Es importante notar en este momento que, como se mencionó, no se plantea el cierre completo de la refinería "18 de Marzo", sino solamente el cese de producción de petrolíferos, por lo cual se conservaran las plazas de los trabajadores actuales del área de almacenamiento y distribución.

En cuanto a los alcances del estudio, al inicio se planteó la idea de diseñar y emplear un modelo matemático para encontrar cuantitativamente la solución al problema.

No hay que olvidar que los modelos matemáticos son extraordinarios instrumentos que permiten analizar de una manera cercana -o en algunos casos lejana de la realidad- un gran número de alternativas que de otra manera sería casi imposible analizar, por dos factores fundamentales: el tiempo y el dinero.

Este modelo permite llegar a una solución factible y lógica, lo que contribuirá, esperamos, para que se siga anali-

zando el problema. Pero no olvidemos que el modelo sólo incluyó factores cuantitativos y hay factores cualitativos que se deben analizar.

Por último, también se planteó la posibilidad de presentar un modelo general para ser empleado para otras industrias. Esto se logró mediante el desarrollo de un modelo general, que posteriormente se aplicó a nuestro problema en particular.

DETALLE DE LAS INSTALACIONES DE LA REFINERÍA "18 DE MARZO"

Como ya se mencionó, la Refinería 18 de marzo tiene actualmente una importancia vital y estratégica para el desarrollo de la vida socio-económica del Distrito Federal y sus alrededores, ya que es el centro de distribución de energéticos que cubre toda esta zona. Actualmente ocupa una superficie de 174 hectáreas y sus instalaciones tienen un valor de rescate de 150 mil millones de pesos (valor a mediados de 1985, aproximadamente 500 millones de dólares).

Con el objeto de hacer un estudio general de la situación actual de la refinería, la dividiremos en ocho partes:

- 1) Ductos de abastecimiento (recibo)
- 2) Instalaciones de proceso
- 3) Servicios auxiliares
- 4) Instalaciones de protección ambiental
- 5) Distribución y almacenamiento de productos
- 6) Instalaciones diversas
- 7) Personal
- 8) Instalaciones sociales y recreativas

III.3.1 DUCTOS DE ABASTECIMIENTO

a).- OLEODUCTO. El petróleo crudo procedente de los yacimientos del Sur del Estado de Veracruz, de Tabasco y Chiapas; se bombea por un oleoducto hacia la Terminal Marítima de Manchital y Pajaritos, Veracruz, de ahí por medio de una línea de 24", es transportado a la Barra de Tuzpan, donde por

medio de una bora para descarga de buques se envia a tanques de almacenamiento. Posteriormente es bombeado hasta el Distrito Industrial de Poza Rica, donde es mezclado con crudo de los campos de esta región. La mezcla es bombeada hacia esta refinería por un oleoducto que tiene las siguientes características:

Diametro	18"
Longitud Poza Rica - Mexico	232 Km
Capacidad Tuberia	139,878 B
Estaciones de Bombeo	7
Capacidad Maxima Bombeo	120,000 BD
Capacidad Normal Bombeo	108,800 BD

b).- GASODUCTO: Cd. Pemex - Minatitlán - México - Guadalajara. Para el consumo interno de la refinería, se recibe gas natural a través del ramal de gasoducto Cd. Pemex - Minatitlán - Venta de Carpio - Salamanca - Guadalajara, el cual esta conectado en Venta de Carpio y llega hasta la refinería de Azcapotzalco.

Las características de este sistema, son las siguientes: Longitud total de Cd. Pemex a Guadalajara: 1287 Km. La capacidad de empaque es de 36,827,000 M3 gaseosos y el promedio de flujo diario es 26,000,000 M3 gaseosos.

Para el tramo Cd. Pemex - Venta de Carpio, las características son de dos líneas de:

Diametro	2"
Longitud	780 Km
Empaque	28,300,000 M3 gaseosos
Estaciones de Compresion	11

En Venta de Carpio existen 3 entronques que alimentan la red de distribución del Valle de Mexico. A la refinería "16 de Marzo" llega uno de 16" x 31 Km para satisfacer un consumo de 1,000,000 M3 gaseosos por día.

c).- POLIDUCTOS: son los siguientes,

(1) Minatitlán - Mexico.- Transporta productos terminados o semi-terminados que provienen de la refinería "Lázaro Cárdenas" localizada en Minatitlán, Ver.; estos productos son: Propano, Butano, Isobutano, Butileno y principalmente Gas LP; las características de este poliducto son:

Diametro	12"
Longitud	575 Km
Empaque	253,000 B
Capacidad normal	40,000 90
Estaciones de Bombeo	9

Este poliducto cuenta con tres ramificaciones, una en Tierra Blanca, Ver., una en Orizaba, Ver., y otra en Puebla.

(2) Tula - México.- Transporta productos terminados o semi-terminados que provienen de la refinería "Miguel Hidalgo", localizada en Tula, Hidalgo; estos productos son: Propileno, Butileno, Gasolina, Turbosina, Kerosina y Diesel. Las características de este poliducto son:

Diametro	16"
Longitud	82 Km

Empaque	63,000 B
Capacidad normal	100,000 BD
Estaciones de bombeo	2

(3) Tuxpan - Poza Rica - México.- Transporta gasolinas de traspaso y Diesel que se elaboran en Minatitlán o Ciudad Madero, y que por medio de buques se transporta a Tuxpan, y se descargan en la barra, para después bombearlo a la refinería de Azcapotzalco. Las características de este poliducto son las siguientes:

Diametro	12''
Longitud	319 Km
Empaque	180,000 B
Capacidad normal	50,000 BD
Estaciones de bombeo	4

Este poliducto puede trabajar en ambos sentidos: Tuxpan - México o Tula - México - Tuxpan.

III.3.2 INSTALACIONES DE PROCESO

Las instalaciones de proceso son todas las plantas que se encuentran en la refinería 18 de marzo. Estas plantas están subdivididas en tres sectores:

Sector 1 - Destilación y tratamiento

Sector 2 - Conversión no. 1

Sector 3 - Conversión no. 2

Cada sector cuenta con un jefe y cuatro ingenieros de planta, con el objeto de tener un control sobre de las operaciones. Así se cuenta con los operadores correspondientes a cada planta.

SECTOR 1 DESTILACION Y TRATAMIENTO

PLANTA DE DESTILACION PRIMARIA 1

Tiene una capacidad de proceso de 38,000 BD de crudo. Utilizandose para obtener: gasolina, turbosina, kerosina, diesel y gasoleo pesado.

PLANTA DE DESTILACION PRIMARIA 2

Tiene una capacidad de proceso de 47,000 BD de crudo. Se utiliza para los mismos productos que la planta anterior

PLANTAS PERCO - DESULFURIZADORAS DE GASOLINA 1 Y 2

Estas plantas reciben como carga a la gasolina primaria y la gasolina proveniente de la planta reductora de viscosidad. Se van a obtener de estas los siguientes productos: gas estabilizador, gas DCS y gasolina estabilizada. Teniendo cada una, una capacidad de 12,000 BD.

PLANTAS FRACCIONADORAS DE GASOLINA Y GAS

En la planta la gasolina proveniente de las plantas desulfuradoras, es sometida a un proceso del cual se obtiene productos como el gasolvente que es un desengrasante y desmanchador y el gas Nafta que es un solvente para

pinturas.

En la planta fraccionadora de gases se van a obtener productos como el gas Butano, que es utilizado para uso doméstico, también se obtiene Isopentano y Pentano normal.

La capacidad nominal de carga de estas fraccionadoras es de 6000 BD.

PLANTA DE TRATAMIENTO DE TURBOSINAS

Esta planta recibe la turbosina que se obtiene de las plantas de destilación primaria, y la somete a un tratamiento que tiene como finalidad obtener la turbosina endulzada; la cual es almacenada y posteriormente mandada por el turbosinoducto al aeropuerto.

SECTOR 2 CONVERSION 1

PLANTA REDUCTORA DE VISCOSIDAD

Llega a esta planta el residuo o asfalto de la planta preparadora de carga; esta pasa por un proceso para reducir su viscosidad que tiene un abatimiento del 90%, lo cual nos proporciona un combustible más fácil de manejar. Se obtiene gas, gasolina o diesel. Esta planta tiene una carga de 20,000 BD, del que se obtiene unos 2,000 BD de combustible.

PLANTA DE ALQUILACION

En esta planta se procesa el Alquilado Ligero (94 octanos), que es la base

principal para la preparación de Gasavion. El Alquilado Ligero o Iso-octano se usa también para elaborar la Gasolina Extra sin plomo. La planta tiene una capacidad de producción de 3,000 BD.

PLANTA DE DODECILBENCENO

(Petroquímica)

Esta planta petroquímica tiene en su proceso como productos principales de carga el Benceno y el Tetramero los cuales lleva por un proceso para obtener Dodecilbenceno y Alquilavilo Pesado, con una capacidad nominal respectiva de 36,500 T/A y 3,700 T/A. El Dodecilbenceno es la materia prima básica para la elaboración de detergentes.

SECTOR 3 CONVERSION 2

PLANTA DE DESTILACION AL VACIO

(Preparadora de carga)

Llega a esta planta el residuo que se obtiene de las plantas de destilación primaria. En esta se vuelve a destilar, bajo otro proceso, y se obtienen destilados que se conocen como Gasoleo Ligero de Vacío y Gasoleo Pesado de Vacío. Estos se envían como carga a la Planta Desintegradora Catalítica; el residuo se envía a la Planta Reductora de Viscosidad. El rendimiento de destilados es de un 50% aproximadamente.

La planta tiene una capacidad de carga de 40,000 BD y se obtiene aproximadamente 8,775 BD de Gasoleo Ligero ⁵ y 13,567 BD de Gasoleo Pesado y unas 25,000 BD de residuo.

PLANTA DE DESINTEGRACION CATALITICA

En esta planta se desintegran los Gasoleos de Vacio, con el objeto de obtener productos de mejor calidad y mayor valor en el mercado.

Esta planta tiene una capacidad de carga de 24,000 BD y consta de las siguientes secciones:

- a) Desintegración.
- b) Fraccionamiento.
- c) Tratamiento.
- d) Estabilización.

PLANTA RECUPERADORA DE AZUFRE

Esta planta utiliza Acido Sulhídrico que se obtiene en una parte del proceso en la Planta de Desintegración Catalitica. Este acido Sulhídrico es conducido por un proceso de donde se produce el azufre.

El azufre que se obtiene en forma líquida es bombeado a un patio especial para que se enfríe y se solidifique.

Esta planta tiene una carga de ácido sulhídrico de 19,863 BD con lo que se pueden producir hasta unas 25 T/D de azufre.

PLANTA DE POLIMERIZACION

(Petroquímica)

Esta planta tiene una capacidad de 2,500 BD de carga de Propano-Propileno. Esta carga es procesada para poder obtener el Tetramero o Dodecileno, que es la carga de la planta de Dodecilbenzeno. El Tetramero es bombeado a esta última planta.

La planta de Polimerización o de Tetramero, tiene una producción aproximada de 17,000 T/A.

III.3.3 SERVICIOS AUXILIARES

(Sector 4)

Se consideran como servicios auxiliares a aquellas instalaciones que son necesarias para el funcionamiento eficiente y seguro de todas las plantas de proceso y demás facilidades dentro de la refinería.

Los servicios auxiliares van a desarrollar un número de insumos que son necesarios para el funcionamiento de la refinería, estos se enlistan a continuación:

- Energía Eléctrica
- Vapor a diferentes presiones
- Agua de enfriamiento
- Aire comprimido
- Agua de servicio
- Agua potable

Todos estos servicios son de uso exclusivo de la refinería. Además la refinería es totalmente autosuficiente en todos ellos lo que le da un mayor

control sobre de los mismos. A continuación se hace una breve descripción de los servicios auxiliares:

a) Agua

En la refinería se consumen aproximadamente 25,500 M³/D de agua para diferentes usos, como son:

Agua para calderas(vapor)	5,000 M ³ /D
Agua de repuesto de torres de enfriamiento	14,000 M ³ /D
Agua para desalado de crudo	1,500 M ³ /D
Agua potable	4,000 M ³ /D
Agua para servicios de contra incendio	1,000 M ³ /D

Total	25,500 M ³ /D

El agua que se consume es extraída del subsuelo mediante quince pozos profundos.

b) Tratamiento de Aguas

Las aguas son tratadas bajo el método cal-magnesia en caliente. Se tiene una capacidad instalada de 90,000 galones por hora (G/H).

Así mismo se tiene un sistema de recuperación de condensados, con el objeto de integrarlos nuevamente a este tratamiento, con el consiguiente ahorro de agua cruda.

c) Calderas

Con el objeto de cumplir con los requerimientos que se tienen en la refinería de varias presiones, se cuenta con los siguientes equipos:

1.- Para obtener vapor a 42.2 Kg/cm² (600 psi) se tienen cinco calderas con capacidad total de diseño de 320 T/H.

2.- Para obtener vapor a 19.3 Kg/cm² (275 psi) se tiene una caldera, la cual utiliza el monóxido de carbono producido en la Planta de Desintegración Catalítica como combustible.

La capacidad instalada de generación de vapor es de 445 T/H, y la demanda promedio que se tiene es de 300 T/H.

d) Planta Termoeléctrica

Toda la energía eléctrica que se utiliza en la refinería es generada internamente por cuatro turbo-generadores; tres de 5,000 KW y uno de 10,000 KW, lo que nos da una capacidad de 25,000 KW a 4,160 volts y 60 ciclos por segundo de frecuencia.

De esta planta termoeléctrica la energía se distribuye hacia las plantas de proceso en donde hay subestaciones que la reciben para reducir la tensión a 440, 220 y 110 volts, que es como se utiliza. Se tiene actualmente una demanda de energía eléctrica de 14,000 KW.

e) Torres de Enfriamiento

Se cuenta con cinco torres de enfriamiento para satisfacer la demanda de

los tres sectores de proceso y el de servicios auxiliares; éstas tienen una capacidad de 215,000 G/H. Se tiene una demanda promedio de 22,500 M3/H.

f) Aire Comprimido

Se van a tener dos requerimientos de corrientes de aire dentro de la Refinería, el primero para el equipo mecánico neumático de mantenimiento, para este se cuenta con siete compresoras de desplazamiento positivo; y el segundo, de mayor precisión, para el control de instrumentación de las plantas de proceso (control neumático), para esta corriente se cuenta con dos compresoras de aire de tipo centrífugo.

F^o tiene una capacidad total instalada de 12,546 M3/H y una demanda promedio de 130,000 M3/min.

III.3.4 INSTALACIONES DE PROTECCION AMBIENTAL

A fin de atender la reglamentación de las leyes federales relativas a la prevención y control de la contaminación ambiental, se desarrollan diversas actividades al respecto.

- Humos .- Se lleva control de las emisiones de humo de cada una de las chimeneas de calderas, calentadores, quemadores de campo y sin humo en operación.

- Polvos .- Se cuantifican las emisiones máximas de partículas sólidas y son menores a las permitidas por los reglamentos. Esto es debido a que para

el control de estas partículas se utilizan colectores mecánicos tipo ciclones.

- Monóxido de carbono.- Se cuenta con una caldera para el aprovechamiento del calor de combustión del monóxido de carbono.

- Agua .- Con excepción de las aguas negras y pluviales, el agua que se utiliza en la refinería es sometida a tratamiento con fines de recuperación. Debido a lo anterior, se han ejecutado proyectos de ampliación en la capacidad de separación de agua y aceite.

III.3.3 DISTRIBUCION Y ALMACENAMIENTO

DISTRIBUCION DE PRODUCTOS

El sistema de distribución funciona a base de terminales satélites, a las cuales se les abastecen los productos desde la refinería por medio de ductos y posteriormente son embarcados en autos-tanque para entregarlos en las zonas adyacentes a estas terminales.

Existen en la actualidad cuatro terminales de distribución, de las cuales tres son para gasolina, kerosina y diesel; y una es para distribuir gas. Además existen otros ductos que van directamente a su objetivo final. A continuación se hace una descripción.

Terminal Satélite Oriente (AM11)

Se encuentra localizada en las inmediaciones de la ciudad deportiva, y se abastece por medio de dos poliductos con las siguientes características:

a) Diametro	12"
Longitud	32 Km
Capacidad de Transporte	70,000 B
Bombeo Normal	23,000 BD
Producto que se bombea:	Gasolina Nova
b) Diametro	8"
Longitud	32 Km
Capacidad de Transporte	4,300 B
Bombeo Normal	9,788 BD
Producto que se bombea:	Diesel Espacial, Diesel Nacional y Diafano

Esta terminal envia algunos productos por dos poliductos a la Terminal de Cuernavaca.

Terminal Satélite Poniente (Barranca del muerto)

Se encuentra localizada en el Sur-Poniente del Distrito Federal y se abastece por dos poliductos con las siguientes características:

a) Diametro	12"
Longitud	18 Km
Capacidad de Transporte	
Bombeo normal	
Productos que transporta:	Gasolina Nova

b) Diámetro	8"
Longitud	18 Km
Capacidad de Transporte	
Bombeo normal	18,300 B/D
Productos que se bombean:	Gasolina Nova

Esta terminal envia gasolina, diesel y diésel por dos poliductos a la Terminal de Toluca.

Terminal Azcapotzalco

Esta terminal se encuentra aneja a la refinería por lo que la distribución se realiza directamente, y distribuye todos los productos.

Terminal para distribución de gas de Azcapotzalco

Se encuentra ubicada en la parte Nor-Oeste de la refinería, en esta terminal se cargan cilindros de 45 Kg de Gas Pemex, mezcla de gas propano y butano.

Ductos directos

Los siguientes son una serie de ductos que salen de la refinería y van directamente a su destino final sin pasar por terminales.

Turbosinoducto

Transporta Turbosina a la compañía INCOA que se encuentra dentro del aeropuerto internacional de la ciudad de México; esta compañía proporciona

este combustible a todos los Jets que se abastecen en este aeropuerto.

El ducto tiene un diametro de 8", y se envia en promedio unos 1,150 M3/D.

Combustoleoducto

Transporta combustoleo ligero y pesado a la Planta Termoelectrica de Lecheria. Tiene una capacidad maxima de 5,550 M3/D, un diametro de 12" y una longitud de 18.8 Km.

Ducto a Nonoalco

Transporta diesel a una distribuidora por una linea de 6" de diametro y una longitud de 3.5 Km, con un promedio de 88 M3/D.

Ducto a la Compania de Luz

Transporta combustoleo ligero y pesado con un promedio de 206 M3/D, a traves de una linea de 12" de diametro con una longitud de 6.7 Km.

Ducto Terminal de Azcapotzalco

Transporta en forma directa los productos desde las areas de proceso hasta la terminal interna para despues ser distribuidas en autos-tanque.

A continuacion se presenta una lista de los productos finales (los producidos mas los recibidos), que son distribuidos por la refinera a traves de sus terminales:

PETROLIFEROS	CANTIDAD (MBO)
LPG	1,618
Sesecion	1,190

Gasolvente	270
Gasnafta	1,233
Gasolina incolora	254
Gasolina Nueva	94,415
Gasolina Extra	314
Turbosina	10,242
Glafano	4,898
Diésel Nacional	16,827
Diésel Especial	10,584
Combustoles	20,449
Total	100,532

PETROQUÍMICOS	CANTIDAD (TD)
Dodecilibenceno	84
Tetramero	44
Azufre	13
Total	145

ALMACENAMIENTO DE PRODUCTOS

El almacenamiento de los productos se lleva a cabo en la refinería, en tanques. Estos tanques van a tener diferentes formas y características dependientes del producto que almacenan; por esto es fácil identificarlos en base a su forma.

Para Propano y Propileno se usan los horizontales; para los Butanos los esféricos; para los productos de baja presión de vapor los verticales de cúpula flotante y para los productos que no gasifican los verticales de cúpula fija.

Se presenta a continuación una lista con las capacidades de almacenamiento y el volumen promedio de movimiento de cada uno de los productos, así como de las terminales.

PRODUCTO	CAPACIDAD DE	MOVIMIENTO
	ALMACENAMIENTO	DIARIO
	M3	M3
Crudo	81,408	17,176
recuperado	14,430	318
Propano	795	318
Propileno	874	334
Isobutano	2,385	159
Butilenos	4,770	954
Gas Pemex	1,431	397
Isopentano	1,431	40
Gasolvente	1,430	48
Gasolina incolora	434	40
Gasnafta	1,485	143
Gasolina Primaria	13,831	4,293
Gasolina Catalitica	34,544	4,359
Alquilado ligero	4,610	555
Gasavion 88	2,544	198
Gas-vion 188	2,842	238

Gasolina Nueva:		
en refinería	188,110	
en Barranca	15,980	
en AMil	15,240	
Total Nueva	139,270	14,380
Gasolina Extra:		
en refinería	7,630	
en Barranca	795	
Total Extra	8,425	934
Turbinas	7,313	1,390
Diafano:		
en refinería	23,290	
en Barranca	2,842	
en AMil	5,430	
Total Diafano	31,780	2,067
Diesel Especial:		
en refinería	19,714	
en Barranca	2,842	
en AMil	7,431	
Total Diesel esp.	30,287	3,180
Diesel Nacional:		
en refinería	41,817	
en AMil	5,844	
Total Diesel nac.	46,982	2,385
Combustibles	42,888	4,272
Gaseosos de Uacio	48,788	4,134
Residuo primario	27,384	7,938
Petroquímicos:		

Petroquímicos:

Benceno	2,353 T	95 TD
Tolueno	286	15
Tetraero	3,340	190
Dodecibenceno	1,351	150
Azufre	570	25

III.3.6 INSTALACIONES DIVERSAS

En las instalaciones diversas estan comprendidas las instalaciones de Mantenimiento, Almacen, contra-Incendio, bodega de seguridad y vigilancia.

a).- Instalaciones de mantenimiento

Todas las instalaciones de la refinerfa deben de tener un máximo de eficiencia y de seguridad, por tal motivo es de mucha importancia el mantenimiento. Dentro de la refinerfa se llevan a cabo programas de mantenimiento preventivo y correctivo a todas las unidades que integran los diferentes procesos.

Las instalaciones de mantenimiento al igual que las de servicios auxiliares, son completamente autosuficientes para la refinerfa. Para llevar acabo el mantenimiento y otras actividades se cuenta con varios talleres de las siguientes especialidades:

- Control automatico (instrumentación)
- Mecánico

- Eléctrico
- Soldadura
- Pallería
- Tubería
- Maniobras (patio)
- Combustión interna
- Transportación
- Reparación de carros de FFCC
- Cambidores de calor
- Herrería
- Albañilería
- Carpintería
- Pintura

b).- Almacén

Es un departamento de servicio en el cual se tienen las refacciones necesarias para realizar las reparaciones. Solamente se va a tener refacciones de aquellas piezas de cambio frecuente y común.

Además se tiene en el almacén los reactivos, sustancias químicas y catalizadores necesarios para los diferentes procesos.

c).- Contra-incendio

Se cuenta con instalaciones de red de agua para el servicio de contra-incendio con tomas para manguera para combatir incendios.

Así mismo todos los tanque de almacenamiento, acumuladores cuentan con rociadores. También se tiene un drenaje para poder desalojar grandes cantidades de agua.

Por otro lado se cuenta con un cuerpo de bomberos propios que se mantienen alerta durante los tres turnos. Este cuerpo cuenta con tres autosbomba.

Normalmente el cuerpo de bomberos desarrolla actividades para prevenir incendios. Este cuerpo tiene su entrenamiento en el norte de la refinería, donde cuenta con un campo de pruebas.

d).- Bodega de Seguridad

Dentro de la refinería se le proporciona casco y guantes de cuero, a todo el personal sin ninguna condición. El uso de este equipo es de carácter obligatorio, con el objeto de prevenir accidentes.

Dentro de la bodega de seguridad se puede encontrar todo el equipo para protección personal como serían: mascarillas para evitar respirar productos nocivos, trajes de asbesto, etc., que no son de uso común y continuo, sino que solamente se usan en trabajos eventuales.

e).- Vigilancia

Se cuenta con un departamento de vigilancia, con el objeto de guardar el orden y la seguridad en las instalaciones.

Así mismo se cuenta, en forma permanente, con un destacamento militar para

casos extraordinarios.

III.3.7 PERSONAL

Con el objeto de cumplir con todas las actividades que se desarrollan dentro de la refinería se cuenta con 2,273 trabajadores contratados en forma definitiva. Dentro de estos se comprenden a todos los trabajadores de las plantas de operación, de talleres, de servicios auxiliares, de vigilancia, de seguridad, de oficina, etc..

Con el objeto de cubrir plazas, debido a ausencias, vacaciones, permisos, etc.; se contratan a 523 trabajadores eventuales, por lo que se tiene en total a unos 2,800 trabajadores.

Por otra parte tenemos que de los 2,273 trabajadores de base, se tienen a 1,269 que laboran en jornada diurna y a 1,004 en turno. Se tienen 120 técnicos de planta.

Por último del total de plazas 2,250 son sindicalizadas y 23 son de confianza.

III.3.8 INSTALACIONES SOCIALES Y RECREATIVAS

Para poder cumplir con los requerimientos que presenta la refinería, debido a que trabaja en forma continua, es necesario que exista un grupo de técnicos de planta; por esta razón se tiene un área habitacional con 30

casas.

Por otro lado se tienen áreas para oficina y ventas, así como recreativas, deportivas y culturales como serían:

- una biblioteca
- un auditorio
- un centro de capacitación y otras instalaciones del IMP
- un estadio de beis-bol
- dos campos infantiles de beis-bol
- dos campos de enseñanza de beis-bol infantil
- dos campos de soft-bol varonil
- una cancha de fut-bol
- una alberca
- una cancha de badminton
- un fronton
- una cancha de squash
- dos mesas de tenis

APÉNDICE II

CÁLCULOS PARA DETERMINAR LAS CARACTERÍSTICAS
PRINCIPALES DE LAS LINEAS DE CONDUCCIÓN

Con el objeto de poder determinar los costos unitarios de instalación y de operación de cada rama, se tuvo que realizar una serie de cálculos de diseño de ductos, en base a la guía para el cálculo de líneas de conducción para transporte de hidrocarburos líquidos de PEMEX. A continuación se muestra la secuencia de los cálculos realizados, así como los resultados obtenidos.

1) Bases para el diseño de ductos

El diseño de la tubería para transportar hidrocarburos líquidos, deberá considerar los siguientes aspectos:

- Características físicas y químicas del fluido:

Densidad d. fluido

Viscosidad del fluido

- Presión y temperatura máximas de operación en condiciones estables.

- Gasto a transportar.

- Puntos inicial y final de la línea.

- Perfil topográfico.

2) Selección de Diametros:

En función del gasto se define el diametro optimo de la tubería y la velocidad del fluido, procurando seleccionar dentro del rango de velocidades recomendables (de 3 a 8 pies/seg para hidrocarburos líquidos).

Formulas aplicables:

$$Dop = 3.02 \sqrt[0.5]{\frac{q}{\rho}} \quad \text{Diametro óptimo}$$

$$v = \frac{q}{A} \quad \text{Velocidad del fluido}$$

3) Caída de Presion por Friccion:

En este paso se calculara el factor de pérdidas por fricción que se tendrá a lo largo de la tubería, es decir la pérdida por fricción en Lb/pul² por cada kilometro de tubería.

Las formulas aplicables:

$$Pf = 0.000216 \frac{L \rho q^2}{d^5}$$

$$Re = \frac{v \rho}{\mu} = 50.6 \frac{v \rho}{\mu}$$

Y las tablas del Crane A-23 y A-24 para obtener el factor de fricción.

4) Caída de la Presión Hidrostática:

Con la diferencia de alturas sobre el nivel del mar del punto inicial de bombeo al punto más elevado que exista en el perfil topográfico se obtiene la caída de la presión hidrostática.

Se aplica la siguiente fórmula:

$$P_h = 1.4207 \cdot s \cdot (h_2 - h_1)$$

5) Cálculo de la presión total del sistema.

Es la suma de las presiones que se requieren para vencer la presión por altura y por fricción en una línea. Y se obtiene:

$$P_t = P_h + P_f$$

6) Cálculo del Número de Estaciones de Bombeo:

El número de estaciones de bombeo se basa en el hecho de que en cada una de ellas la presión debe de ser la misma.

Se aplica la siguiente formula,

197

$$\text{No. Est.} = \frac{P_t}{P_a - P_1}$$

Y se aproxima al entero proximo.

7) Cálculo de la Potencia del Sistema:

Para calcular la potencia requerida por estación de bombeo se aplica la siguiente formula,

$$\text{Pot. Est.} = \frac{Q (P_d - P_1)}{58900 \eta}$$

Para fines ilustrativos se considera una eficiencia del motor de la bomba del 75%.

La potencia total requerida en el sistema será el producto que resulte de multiplicar el numero de estaciones por la potencia requerida para cada una de ellas.

$$\text{Pot. Sist.} = \text{No. Est.} \cdot \text{Pot. Est.}$$

8) Cálculo del espesor minimo requerido

El espesor esta en función de la presión del sistema y del esfuerzo máximo permisible del del material que se analice.

Para el cálculo de espesores de tubería para transporte de hidrocarburos líquidos se aplica la ecuación de Barlow:

$$t = \frac{P \cdot D}{2s}$$

En donde el esfuerzo máximo permisible "s" de trabajo según norma de PETEX es 2.374.04 para tubería nueva, es:

$$s = F \cdot E \cdot R$$

Donde "F" es un factor de tolerancia por defectos de espesor en la tubería nueva y tiene un valor de 0.72, R es la resistencia de fluencia mínima y E la eficiencia de junta de soldadura, y se considera del 100%.

CALCULOS PARA CADA RAMA

Para hacer los cálculos se considera la construcción de oleoductos y poliductos que manejen un flujo de 100,000 barriles.

Las propiedades del crudo son:

$$\text{Densidad} \quad \rho = 53.45 \text{ Lb/pie}^3$$

Viscosidad $\mu = 5.4 \text{ cp}$
Peso específico $S = 0.885$

199

Las propiedades del Diesel son:

Densidad $\rho = 52.99 \text{ Lb/pie}^3$
Viscosidad $\mu = 5.4 \text{ cp}$
Peso específico $S = 0.85$

Para los poliductos se considera diesel solamente ya que este es el más viscoso de los productos que manejará por lo cual las instalaciones se deben diseñar para poder transportarlo.

Para ambos se considera una temperatura de operación de 20 C. Para el oleoducto se considera una presión recomendada, por estación de 1100 Lb/pulg² y para el poliducto de 1300 Lb/pulg².

Tomando esto en cuenta y empleando la ecuación para el cálculo del diámetro óptimo, obtenemos uno de 14". A continuación se muestran las pérdidas unitarias de presión para oleoductos y poliductos.

Para poliductos:

$\rho = 52.99 \text{ Lb/pie}^3$	$P_f = 0.003 \text{ psi/ pie}$
$\mu = 5.4 \text{ cp}$	$P_f = 9.9489 \text{ psi/M}$
$S = 0.85$	
$Re = 107000$	$Ph = 1.2074 \text{ psi/M}$

$$f = 0.014$$

Para oleoductos:

$\rho = 53.45 \text{ Lb/pie}^3$	$Pf = 0.0028 \text{ psi/pie}$
$\mu = 5.4 \text{ cp}$	$Pf = 9.3184 \text{ psi/100}$
$s = 0.885$	
$Re = 108000$	$Ph = 1.2573 \text{ psi/m}$
$f = 0.013$	

A continuacion se presentan en las tablas II.1 y II.2, la potencia, numero de estaciones y espesor minimo de ductos para cada rama de la red, para poliductos y oleoductos respectivamente.

En cuanto al espesor minimo obtuvimos, considerando un material con resistencia de fluencia de 52,000 Lb/pulg², y la presion de cada rama, los valores que se muestran en las tablas anteriores. En base a estos se determinaron los espesores nominales comerciales, que influyen en el costo de la tuberia.

CALCULO DEL COSTO POR INSTALACION Y ADQUISICION DE LINEAS DE CONDUCCION

(\$/KM)

CONCEPTO

1.- Trazo y Nivelacion

126,20'

2.- Apertura del derecho de via	181,440
3.- Terrocenos en ODV	330,588
4.- Excavacion en tierra	325,799
5.- Excavacion en roca	1,951,323
6.- Transporte y tendido de tubo	616,940
7.- Soldadura	3,074,007
8.- Tapado	518,807
9.- Prueba Hidrostatica	53,016
10.- Diablos	24,038
11.- Costo de Tubo	31,396,000
12.- Limpieza, esmaltado y bajado	3,077,934

	42,197,118

PERFILES TOPOGRAFICOS

Acontinuacion se muestran una serie de graficas que representan de una manera muy simplista los perfiles topograficos sobre los cuales se analizan las instalaciones y la operacion de los ductos. Estos perfiles fueron fundamentales para el calculo de las potencias requeridas.

TABLA II .1

TIPO I

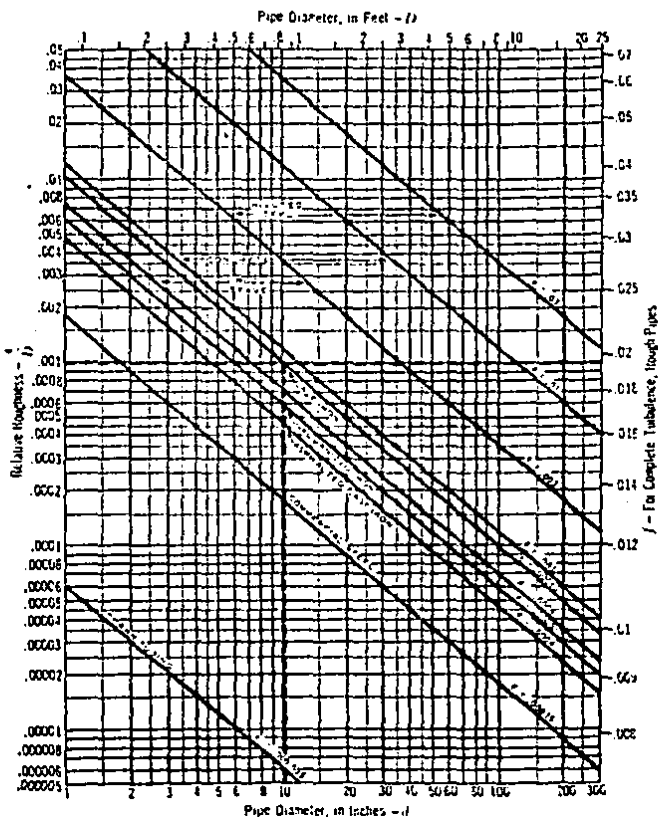
RAMA	L	H	Pt	No. Est.	Pc	Po.Est.	Po.Sis.
2 - 3	51	167	709.06	0.57	1	709.06	1469.29
3 - 1	31	100	429.18	0.35	1	429.18	835.72
3 - 2	51	60	579.85	0.47	1	579.85	1176.30
4 - 3	44	(80)	437.75	0.35	1	437.75	855.13
4 - 6	58	58	647.08	0.52	1	647.08	1328.98
5 - 4	164	2295	4403.06	3.55	4	1100.77	2356.00
6 - 4	58	(58)	577.01	0.47	1	577.01	1170.36
6 - 7	18	145	354.18	0.29	1	354.18	665.95
6 - 8	13	(156)	129.34	0.10	0	0.00	0.00
7 - 6	18	(145)	179.08	0.14	0	0.00	0.00
8 - 6	13	156	317.72	0.26	1	317.72	583.41
8 - 11	27	(90)	268.62	0.22	1	268.62	472.26
9 - 3	84	680	1456.89	1.34	2	828.44	1739.54
10 - 11	8	0	79.59	0.06	0	0.00	0.00
11 - 8	27	90	377.30	0.30	1	377.30	718.29
11 - 9	34	59	409.51	0.33	1	409.51	719.20
11 - 10	8	0	79.59	0.06	0	0.00	0.00
11 - 12	4	138	206.45	0.17	1	206.45	331.52
12 - 11	4	(138)	39.80	0.00	0	0.00	0.00
13 - 11	440	2161	4988.35	5.64	6	1144.72	2500.79

TABLA II .2

TIPO 2

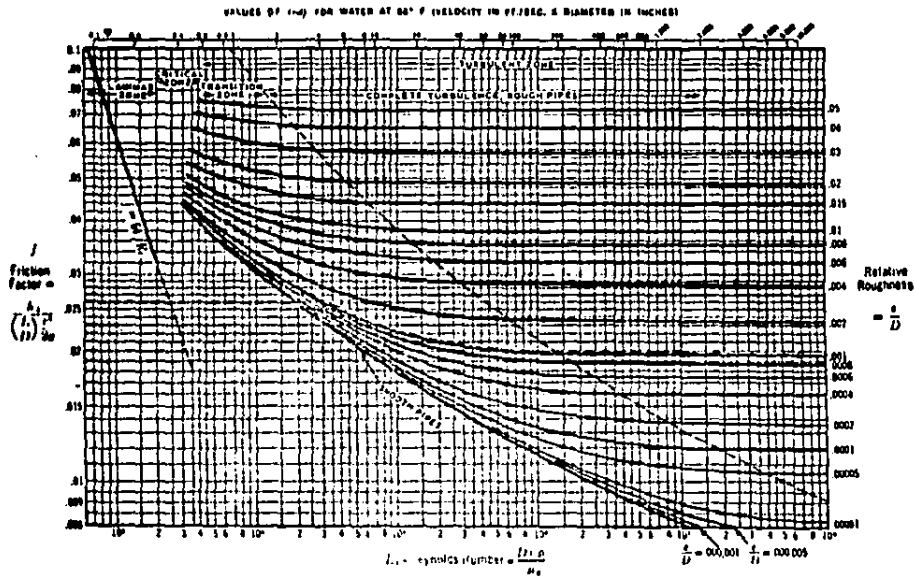
RAMA	L	H	Pt	Co. Est.		Pd	Po. Est.	Po. Sis.
2 - 3	51	167	685.21	0.66	1	685.21	1415.30	1416.30
3 - 1	31	100	414.60	0.40	1	414.60	802.72	802.62
3 - 2	51	60	550.68	0.53	1	550.68	1110.76	1110.76
4 - 3	44	(80)	410.01	0.39	1	410.01	792.33	792.33
4 - 6	58	58	613.39	0.59	1	613.39	1252.72	1252.72
5 - 4	164	2295	4413.72	4.24	5	882.74	1842.47	9312.35
6 - 4	58	(58)	540.47	0.52	1	540.47	1087.65	1087.65
6 - 7	18	145	350.04	0.34	1	350.04	656.57	656.57
6 - 8	13	(154)	121.14	0.12	0	0.00	0.00	0.00
7 - 6	18	(145)	167.73	0.16	0	0.00	0.00	0.00
8 - 6	13	154	317.28	0.31	1	317.28	582.41	582.41
8 - 11	27	(90)	251.60	0.24	1	251.60	433.73	433.73
9 - 3	84	680	1637.71	1.57	2	818.86	1717.84	3435.68
10 - 11	8	0	75.55	0.07	0	0.00	0.00	0.00
11 - 8	27	90	364.75	0.35	1	364.75	689.88	689.88
11 - 9	34	59	391.01	0.38	1	391.01	749.31	749.31
11 - 10	8	0	74.55	0.07	0	0.00	0.00	0.00
11 - 12	4	138	210.78	0.20	1	210.78	341.44	341.44
12 - 11	4	(138)	37.27	0.04	0	0.00	0.00	0.00
13 - 11	440	2161	6818.38	6.57	7	974.05	2069.17	14484.16

Relative Roughness of Pipe Materials and Friction Factors For Complete Turbulence¹⁴



Data extracted from *Friction Factors for Pipe Flow* by I. I. Mooney, with permission of the publisher, The American Society of Mechanical Engineers.

Problem: Determine absolute and relative roughness, and friction factor, for fully turbulent flow in 10-inch cast iron pipe ($\epsilon = 0.0005$).
Solution: Absolute roughness (ϵ) = 0.0005. . . . Relative roughness (ϵ/D) = 0.001. . . . Friction factor at fully turbulent flow (f) = 0.019.



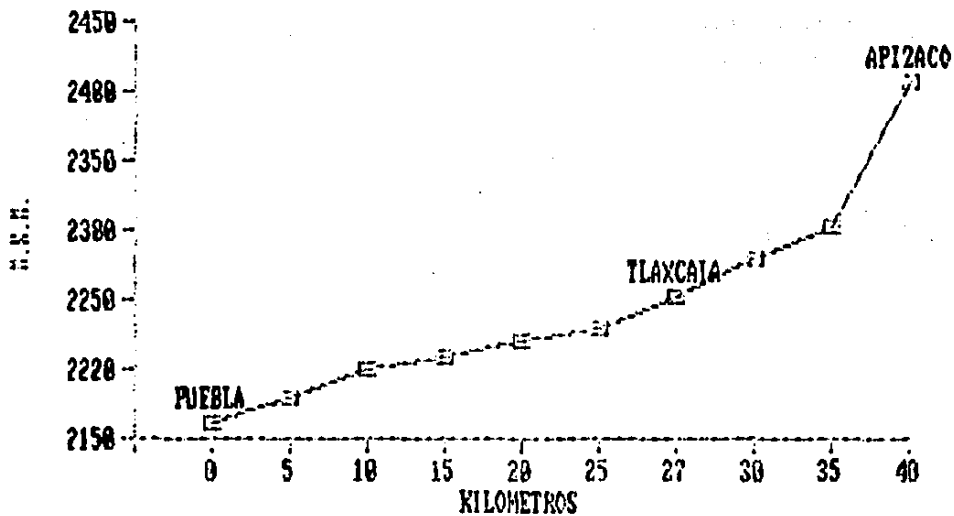
Problem:

Determine the friction factor for 10-inch cast iron pipe (10.16" I.D.) at a Reynolds number flow of 30,000

Solution: The relative roughness (see page A-13) is 0.001. Then, the friction factor (f) equals 0.030.

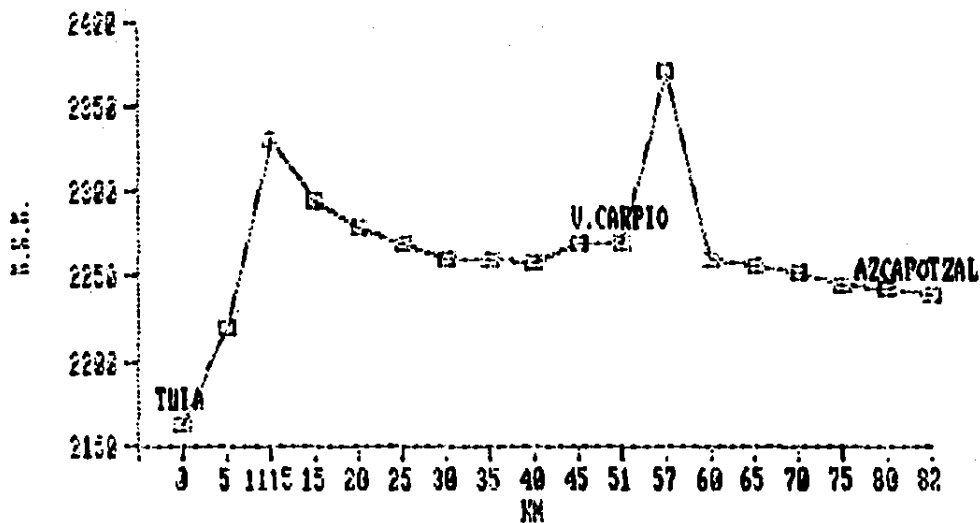
Friction Factors for Any Type of Commercial Pipe¹

PUEBLA-TLAXCALA-APIZACO
1931



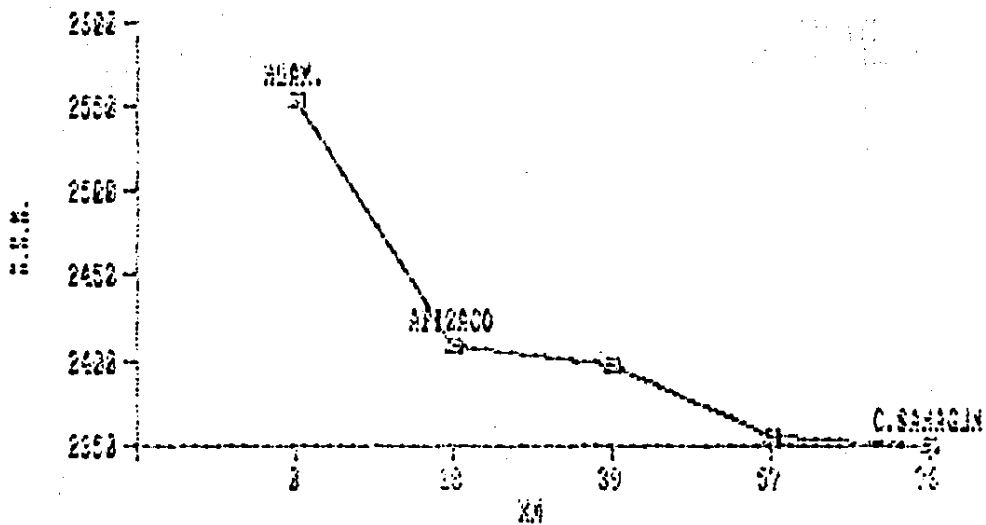
GRAFICA II.1

TULA-U. DE CARPIO-AZCAPOTZALCO
PERFIL



GRAFICA II.2

SUSMATELA-APIZACO-C. SANAGAN
FERTIL



GRAFICA II.3

**NUEVO TEXPA (COLFC) - PUEBLA
 UENIA DE CAMPIO - SACAPOTZALCO**

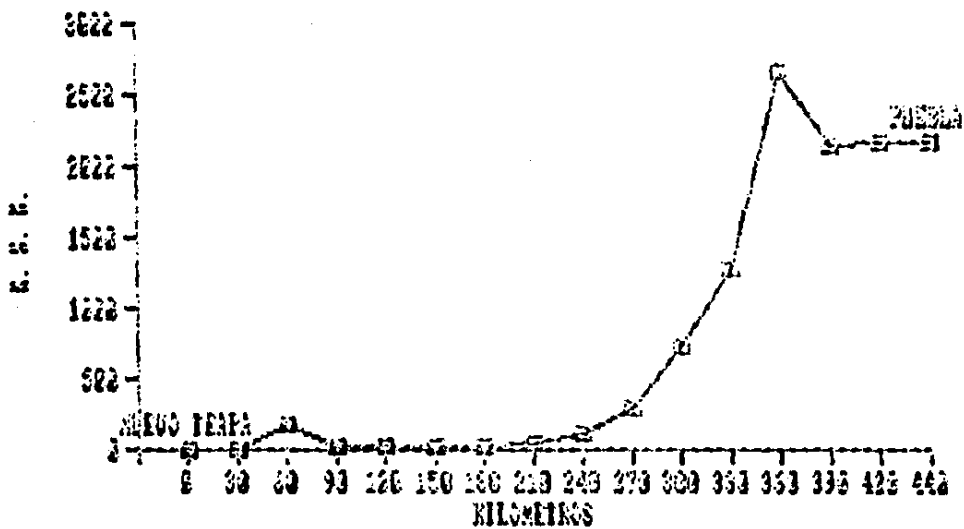
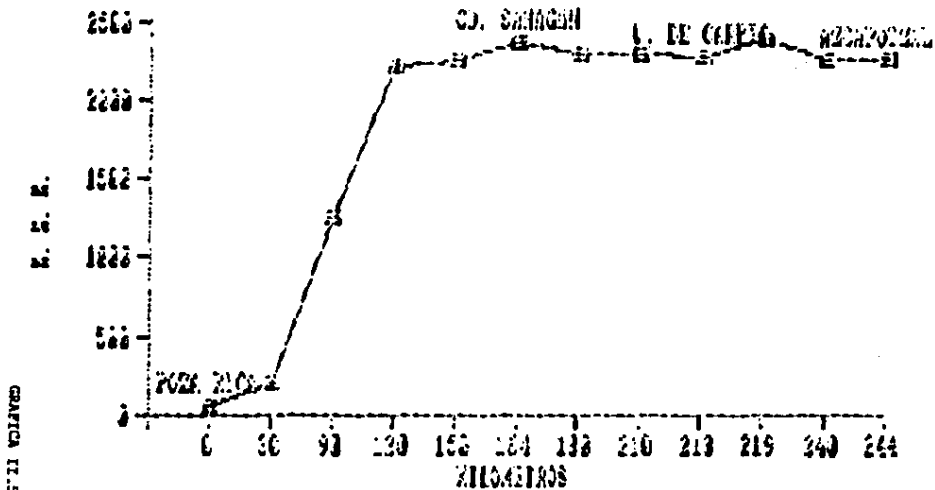


GRAFICO II.4

POZA NECA - CD. SANAGÓN
 JUNTA DE CAFFES - AZCAPOTZALCO



APENDICE III**PRESENTACION DEL PROGRAMA EN LA****FORMA TRADICIONAL DE LA****PROGRAMACION LINEAL**



LISTING OF THU SEP 24 1975 09:19: PAGE 1

```

00.00 0000 00.00 0000
01.00 0001 01.00 0001
02.00 0002 02.00 0002
03.00 0003 03.00 0003
04.00 0004 04.00 0004
05.00 0005 05.00 0005
06.00 0006 06.00 0006
07.00 0007 07.00 0007
08.00 0008 08.00 0008
09.00 0009 09.00 0009
10.00 0010 10.00 0010
11.00 0011 11.00 0011
12.00 0012 12.00 0012
13.00 0013 13.00 0013
14.00 0014 14.00 0014
15.00 0015 15.00 0015
16.00 0016 16.00 0016
17.00 0017 17.00 0017
18.00 0018 18.00 0018
19.00 0019 19.00 0019
20.00 0020 20.00 0020
21.00 0021 21.00 0021
22.00 0022 22.00 0022
23.00 0023 23.00 0023
24.00 0024 24.00 0024
25.00 0025 25.00 0025
26.00 0026 26.00 0026
27.00 0027 27.00 0027
28.00 0028 28.00 0028
29.00 0029 29.00 0029
30.00 0030 30.00 0030
31.00 0031 31.00 0031
32.00 0032 32.00 0032
33.00 0033 33.00 0033
34.00 0034 34.00 0034
35.00 0035 35.00 0035
36.00 0036 36.00 0036
37.00 0037 37.00 0037
38.00 0038 38.00 0038
39.00 0039 39.00 0039
40.00 0040 40.00 0040
41.00 0041 41.00 0041
42.00 0042 42.00 0042
43.00 0043 43.00 0043
44.00 0044 44.00 0044
45.00 0045 45.00 0045
46.00 0046 46.00 0046
47.00 0047 47.00 0047
48.00 0048 48.00 0048
49.00 0049 49.00 0049
50.00 0050 50.00 0050
51.00 0051 51.00 0051
52.00 0052 52.00 0052
53.00 0053 53.00 0053
54.00 0054 54.00 0054
55.00 0055 55.00 0055
56.00 0056 56.00 0056
57.00 0057 57.00 0057
58.00 0058 58.00 0058
59.00 0059 59.00 0059
60.00 0060 60.00 0060
61.00 0061 61.00 0061
62.00 0062 62.00 0062
63.00 0063 63.00 0063
64.00 0064 64.00 0064
65.00 0065 65.00 0065
66.00 0066 66.00 0066
67.00 0067 67.00 0067
68.00 0068 68.00 0068
69.00 0069 69.00 0069
70.00 0070 70.00 0070
71.00 0071 71.00 0071
72.00 0072 72.00 0072
73.00 0073 73.00 0073
74.00 0074 74.00 0074
75.00 0075 75.00 0075
76.00 0076 76.00 0076
77.00 0077 77.00 0077
78.00 0078 78.00 0078
79.00 0079 79.00 0079
80.00 0080 80.00 0080
81.00 0081 81.00 0081
82.00 0082 82.00 0082
83.00 0083 83.00 0083
84.00 0084 84.00 0084
85.00 0085 85.00 0085
86.00 0086 86.00 0086
87.00 0087 87.00 0087
88.00 0088 88.00 0088
89.00 0089 89.00 0089
90.00 0090 90.00 0090
91.00 0091 91.00 0091
92.00 0092 92.00 0092
93.00 0093 93.00 0093
94.00 0094 94.00 0094
95.00 0095 95.00 0095
96.00 0096 96.00 0096
97.00 0097 97.00 0097
98.00 0098 98.00 0098
99.00 0099 99.00 0099
100.00 0100 100.00 0100

```


APENDICE IV**RESULTADOS COMPLETOS DEL PROBLEMA****PARA CADA HORIZONTE DE****PLANEACION**

777		
753		
653		
633		
613		
593		
573		
553		
533		
513		
493		
473		
453		
433		
413		
393		
373		
353		
333		
313		
293		
273		
253		
233		
213		
193		
173		
153		
133		
113		
93		
73		
53		
33		
13		

1001		
1002		
1003		
1004		
1005		
1006		
1007		
1008		
1009		
1010		
1011		
1012		
1013		
1014		
1015		
1016		
1017		
1018		
1019		
1020		
1021		
1022		
1023		
1024		
1025		
1026		
1027		
1028		
1029		
1030		
1031		
1032		
1033		
1034		
1035		
1036		
1037		
1038		
1039		
1040		
1041		
1042		
1043		
1044		
1045		
1046		
1047		
1048		
1049		
1050		
1051		
1052		
1053		
1054		
1055		
1056		
1057		
1058		
1059		
1060		
1061		
1062		
1063		
1064		
1065		
1066		
1067		
1068		
1069		
1070		
1071		
1072		
1073		
1074		
1075		
1076		
1077		
1078		
1079		
1080		
1081		
1082		
1083		
1084		
1085		
1086		
1087		
1088		
1089		
1090		
1091		
1092		
1093		
1094		
1095		
1096		
1097		
1098		
1099		
1100		
1101		
1102		
1103		
1104		
1105		
1106		
1107		
1108		
1109		
1110		
1111		
1112		
1113		
1114		
1115		
1116		
1117		
1118		
1119		
1120		
1121		
1122		
1123		
1124		
1125		
1126		
1127		
1128		
1129		
1130		
1131		
1132		
1133		
1134		
1135		
1136		
1137		
1138		
1139		
1140		
1141		
1142		
1143		
1144		
1145		
1146		
1147		
1148		
1149		
1150		
1151		
1152		
1153		
1154		
1155		
1156		
1157		
1158		
1159		
1160		
1161		
1162		
1163		
1164		
1165		
1166		
1167		
1168		
1169		
1170		
1171		
1172		
1173		
1174		
1175		
1176		
1177		
1178		
1179		
1180		
1181		
1182		
1183		
1184		
1185		
1186		
1187		
1188		
1189		
1190		
1191		
1192		
1193		
1194		
1195		
1196		
1197		
1198		
1199		
1200		

NO. OF OBSERVATIONS ON
 NO. OF MISSING VALUES

VARIABLES IN WHICH THE MISSING IS NEAREST

VARIABLE	MISSING	NEAREST	MISSING	NEAREST
V1	1	1	1	1
V2	1	1	1	1
V3	1	1	1	1
V4	1	1	1	1
V5	1	1	1	1
V6	1	1	1	1
V7	1	1	1	1
V8	1	1	1	1
V9	1	1	1	1
V10	1	1	1	1
V11	1	1	1	1
V12	1	1	1	1
V13	1	1	1	1
V14	1	1	1	1
V15	1	1	1	1
V16	1	1	1	1
V17	1	1	1	1
V18	1	1	1	1
V19	1	1	1	1
V20	1	1	1	1
V21	1	1	1	1
V22	1	1	1	1
V23	1	1	1	1
V24	1	1	1	1
V25	1	1	1	1
V26	1	1	1	1
V27	1	1	1	1
V28	1	1	1	1
V29	1	1	1	1
V30	1	1	1	1
V31	1	1	1	1
V32	1	1	1	1
V33	1	1	1	1
V34	1	1	1	1
V35	1	1	1	1
V36	1	1	1	1
V37	1	1	1	1
V38	1	1	1	1
V39	1	1	1	1
V40	1	1	1	1
V41	1	1	1	1
V42	1	1	1	1
V43	1	1	1	1
V44	1	1	1	1
V45	1	1	1	1
V46	1	1	1	1
V47	1	1	1	1
V48	1	1	1	1
V49	1	1	1	1
V50	1	1	1	1
V51	1	1	1	1
V52	1	1	1	1
V53	1	1	1	1
V54	1	1	1	1
V55	1	1	1	1
V56	1	1	1	1
V57	1	1	1	1
V58	1	1	1	1
V59	1	1	1	1
V60	1	1	1	1
V61	1	1	1	1
V62	1	1	1	1
V63	1	1	1	1
V64	1	1	1	1
V65	1	1	1	1
V66	1	1	1	1
V67	1	1	1	1
V68	1	1	1	1
V69	1	1	1	1
V70	1	1	1	1
V71	1	1	1	1
V72	1	1	1	1
V73	1	1	1	1
V74	1	1	1	1
V75	1	1	1	1
V76	1	1	1	1
V77	1	1	1	1
V78	1	1	1	1
V79	1	1	1	1
V80	1	1	1	1
V81	1	1	1	1
V82	1	1	1	1
V83	1	1	1	1
V84	1	1	1	1
V85	1	1	1	1
V86	1	1	1	1
V87	1	1	1	1
V88	1	1	1	1
V89	1	1	1	1
V90	1	1	1	1
V91	1	1	1	1
V92	1	1	1	1
V93	1	1	1	1
V94	1	1	1	1
V95	1	1	1	1
V96	1	1	1	1
V97	1	1	1	1
V98	1	1	1	1
V99	1	1	1	1
V100	1	1	1	1

010001	0.0	100000	0.0
010002	0.0	100000	0.0
010003	0.0	100000	0.0
010004	0.0	100000	0.0
010005	0.0	100000	0.0
010006	0.0	100000	0.0
010007	0.0	100000	0.0
010008	0.0	100000	0.0
010009	0.0	100000	0.0
010010	0.0	100000	0.0
010011	0.0	100000	0.0
010012	0.0	100000	0.0
010013	0.0	100000	0.0
010014	0.0	100000	0.0
010015	0.0	100000	0.0
010016	0.0	100000	0.0
010017	0.0	100000	0.0
010018	0.0	100000	0.0
010019	0.0	100000	0.0
010020	0.0	100000	0.0
010021	0.0	100000	0.0
010022	0.0	100000	0.0
010023	0.0	100000	0.0
010024	0.0	100000	0.0
010025	0.0	100000	0.0
010026	0.0	100000	0.0
010027	0.0	100000	0.0
010028	0.0	100000	0.0
010029	0.0	100000	0.0
010030	0.0	100000	0.0
010031	0.0	100000	0.0
010032	0.0	100000	0.0
010033	0.0	100000	0.0
010034	0.0	100000	0.0
010035	0.0	100000	0.0
010036	0.0	100000	0.0
010037	0.0	100000	0.0
010038	0.0	100000	0.0
010039	0.0	100000	0.0
010040	0.0	100000	0.0
010041	0.0	100000	0.0
010042	0.0	100000	0.0
010043	0.0	100000	0.0
010044	0.0	100000	0.0
010045	0.0	100000	0.0
010046	0.0	100000	0.0
010047	0.0	100000	0.0
010048	0.0	100000	0.0
010049	0.0	100000	0.0
010050	0.0	100000	0.0

Summary 010001-010050
 010001 0.0
 010002 0.0
 010003 0.0
 010004 0.0
 010005 0.0
 010006 0.0
 010007 0.0
 010008 0.0
 010009 0.0
 010010 0.0
 010011 0.0
 010012 0.0
 010013 0.0
 010014 0.0
 010015 0.0
 010016 0.0
 010017 0.0
 010018 0.0
 010019 0.0
 010020 0.0
 010021 0.0
 010022 0.0
 010023 0.0
 010024 0.0
 010025 0.0
 010026 0.0
 010027 0.0
 010028 0.0
 010029 0.0
 010030 0.0
 010031 0.0
 010032 0.0
 010033 0.0
 010034 0.0
 010035 0.0
 010036 0.0
 010037 0.0
 010038 0.0
 010039 0.0
 010040 0.0
 010041 0.0
 010042 0.0
 010043 0.0
 010044 0.0
 010045 0.0
 010046 0.0
 010047 0.0
 010048 0.0
 010049 0.0
 010050 0.0

010051	0.0	100000	0.0
010052	0.0	100000	0.0
010053	0.0	100000	0.0
010054	0.0	100000	0.0
010055	0.0	100000	0.0
010056	0.0	100000	0.0
010057	0.0	100000	0.0
010058	0.0	100000	0.0
010059	0.0	100000	0.0
010060	0.0	100000	0.0
010061	0.0	100000	0.0
010062	0.0	100000	0.0
010063	0.0	100000	0.0
010064	0.0	100000	0.0
010065	0.0	100000	0.0
010066	0.0	100000	0.0
010067	0.0	100000	0.0
010068	0.0	100000	0.0
010069	0.0	100000	0.0
010070	0.0	100000	0.0
010071	0.0	100000	0.0
010072	0.0	100000	0.0
010073	0.0	100000	0.0
010074	0.0	100000	0.0
010075	0.0	100000	0.0
010076	0.0	100000	0.0
010077	0.0	100000	0.0
010078	0.0	100000	0.0
010079	0.0	100000	0.0
010080	0.0	100000	0.0
010081	0.0	100000	0.0
010082	0.0	100000	0.0
010083	0.0	100000	0.0
010084	0.0	100000	0.0
010085	0.0	100000	0.0
010086	0.0	100000	0.0
010087	0.0	100000	0.0
010088	0.0	100000	0.0
010089	0.0	100000	0.0
010090	0.0	100000	0.0
010091	0.0	100000	0.0
010092	0.0	100000	0.0
010093	0.0	100000	0.0
010094	0.0	100000	0.0
010095	0.0	100000	0.0
010096	0.0	100000	0.0
010097	0.0	100000	0.0
010098	0.0	100000	0.0
010099	0.0	100000	0.0
010100	0.0	100000	0.0

Summary 010051-010100
 010051 0.0
 010052 0.0
 010053 0.0
 010054 0.0
 010055 0.0
 010056 0.0
 010057 0.0
 010058 0.0
 010059 0.0
 010060 0.0
 010061 0.0
 010062 0.0
 010063 0.0
 010064 0.0
 010065 0.0
 010066 0.0
 010067 0.0
 010068 0.0
 010069 0.0
 010070 0.0
 010071 0.0
 010072 0.0
 010073 0.0
 010074 0.0
 010075 0.0
 010076 0.0
 010077 0.0
 010078 0.0
 010079 0.0
 010080 0.0
 010081 0.0
 010082 0.0
 010083 0.0
 010084 0.0
 010085 0.0
 010086 0.0
 010087 0.0
 010088 0.0
 010089 0.0
 010090 0.0
 010091 0.0
 010092 0.0
 010093 0.0
 010094 0.0
 010095 0.0
 010096 0.0
 010097 0.0
 010098 0.0
 010099 0.0
 010100 0.0

1. NAME AND ADDRESS OF
 THE LIBRARY TO BE USED

2. DATE OF THE STUDY OR
 RESEARCH PROJECT

3. TITLE OF THE STUDY OR
 RESEARCH PROJECT

4. AUTHOR OF THE STUDY OR
 RESEARCH PROJECT

5. TITLE OF THE JOURNAL OR
 PUBLICATION IN WHICH THE
 STUDY OR RESEARCH PROJECT
 IS PUBLISHED

6. AUTHOR OF THE JOURNAL OR
 PUBLICATION IN WHICH THE
 STUDY OR RESEARCH PROJECT
 IS PUBLISHED

7. TITLE OF THE BOOK OR
 PUBLICATION IN WHICH THE
 STUDY OR RESEARCH PROJECT
 IS PUBLISHED

8. AUTHOR OF THE BOOK OR
 PUBLICATION IN WHICH THE
 STUDY OR RESEARCH PROJECT
 IS PUBLISHED

9. TITLE OF THE ARTICLE OR
 CHAPTER IN A BOOK OR
 PUBLICATION IN WHICH THE
 STUDY OR RESEARCH PROJECT
 IS PUBLISHED

10. AUTHOR OF THE ARTICLE OR
 CHAPTER IN A BOOK OR
 PUBLICATION IN WHICH THE
 STUDY OR RESEARCH PROJECT
 IS PUBLISHED

Vertical column of dense, illegible text.

Vertical column of dense, illegible text.

Vertical column of dense, illegible text.

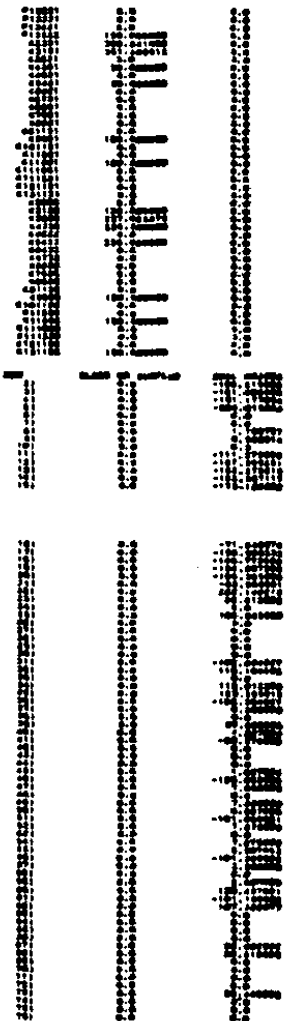
Vertical column of dense, illegible text.

Vertical column of dense, illegible text.

Vertical column of dense, illegible text.

Vertical column of dense, illegible text.

Vertical column of dense, illegible text.



0000
0001
0002
0003

0004
0005
0006
0007

0008
0009

0010
0011
0012
0013
0014
0015
0016
0017
0018
0019
0020
0021
0022
0023
0024
0025
0026
0027
0028
0029
0030
0031
0032
0033
0034
0035
0036
0037
0038
0039
0040
0041
0042
0043
0044
0045
0046
0047
0048
0049
0050
0051
0052
0053
0054
0055
0056
0057
0058
0059
0060
0061
0062
0063
0064
0065
0066
0067
0068
0069
0070
0071
0072
0073
0074
0075
0076
0077
0078
0079
0080
0081
0082
0083
0084
0085
0086
0087
0088
0089
0090
0091
0092
0093
0094
0095
0096
0097
0098
0099

0100
0101
0102
0103
0104
0105
0106
0107
0108
0109
0110
0111
0112
0113
0114
0115
0116
0117
0118
0119
0120
0121
0122
0123
0124
0125
0126
0127
0128
0129
0130
0131
0132
0133
0134
0135
0136
0137
0138
0139
0140
0141
0142
0143
0144
0145
0146
0147
0148
0149
0150
0151
0152
0153
0154
0155
0156
0157
0158
0159
0160
0161
0162
0163
0164
0165
0166
0167
0168
0169
0170
0171
0172
0173
0174
0175
0176
0177
0178
0179
0180
0181
0182
0183
0184
0185
0186
0187
0188
0189
0190
0191
0192
0193
0194
0195
0196
0197
0198
0199

0200
0201
0202
0203
0204
0205
0206
0207
0208
0209
0210
0211
0212
0213
0214
0215
0216
0217
0218
0219
0220
0221
0222
0223
0224
0225
0226
0227
0228
0229
0230
0231
0232
0233
0234
0235
0236
0237
0238
0239
0240
0241
0242
0243
0244
0245
0246
0247
0248
0249
0250
0251
0252
0253
0254
0255
0256
0257
0258
0259
0260
0261
0262
0263
0264
0265
0266
0267
0268
0269
0270
0271
0272
0273
0274
0275
0276
0277
0278
0279
0280
0281
0282
0283
0284
0285
0286
0287
0288
0289
0290
0291
0292
0293
0294
0295
0296
0297
0298
0299

0300
0301
0302
0303
0304
0305

0306
0307
0308
0309

0310
0311
0312
0313
0314
0315

0316
0317

CITAS BIBLIOGRAFICAS

- (1) El Petroleo.- Pag. 2
- (2) El Petroleo.- Pag. 8
- (3) El Petroleo.- Pag. 9
- (4) La Guerra Secreta del Petroleo.- Pag. 35
- (5) El Petroleo.- Pag. 11
- (6) La Guerra Secreta del Petroleo.- Pag. 18
- (7) El Petroleo.- Pag. 17
- (8) La Guerra Secreta del Petroleo.- Pag. 43
- (9) Memoria de Labores de PEMEX.- Pag. sn.
- (10) Proyecto de Integracion de la Refineria "18 de Marzo".- Pag. sn.
- (11) Proyecto de Integracion de la Refineria "18 de Marzo".- Pag. sn.
- (12) 100 Acciones Necesarias.- Pag. sn.
- (13) Plan Nacional de Desarrollo.- Pag. 43
- (14) Apuntes de Investigacion de Operaciones.- Pag. 16
- (15) Taks, Investigacion de Operaciones.- Pag 16
- (16) Apuntes de Investigacion de Operaciones.- Pag. 41
- (17) Apuntes de Investigacion de Operaciones.- Pag. 44-45

BIBLIOGRAFIA

APUNTES DE INVESTIGACION DE OPERACIONES

MAURICE P. LEVY, LUIS M. MONROY

CENSO GENERAL DE POBLACION Y VIVIENDA

DE LOS ESTADOS DE GUERRERO, MEXICO, MORELOS, PUEBLA, TLAXCALA E HIDALGO
S.P.F.

EL PETROLEO

PUBLICACION DE PETROLEOS MEXICANOS

1984

ESTUDIO DE LA REFINERIA "18 DE MARZO"

PETROLEOS MEXICANOS

FACILITY LAYOUT AND LOCATION

RICHARD L. FRANCIS, JOHN A. WHITE

PRENTICE HALL

FACILITY PLANNING

JAMES A. TOMPKINS, JOHN A. WHITE

JOHN WILEY & SONS

FLOW OF FLUIDS

CORNE, TECHNICAL PAPER No. 410

GUIA PARA EL CALCULO DE LINEAS DE CONDUCCION
DE HIDROCARBUROS LIQUIDOS
PENEX

INTRODUCCION A LA INVESTIGACION DE OPERACIONES
MILLER / LIESERMAN
MC BRAM HILL

INVESTIGACION DE OPERACIONES. UNA INTRODUCCION
RANDY A. TAMA
REPRESENTACIONES Y SERVICIOS DE INGENIERIA S.A.

LA GUERRA SECRETA DEL PETROLEO
JACQUES BERGIER Y BERNAR THOMAS

LA INDUSTRIA PETROLERA EN MEXICO, 1985
INEDI

MEMORIA DE LABORES DE PENEX
1984 Y 1985

PLAN NACIONAL DE DESARROLLO
1983 - 1988
PODER EJECUTIVO FEDERAL

PROYECTO DE INTEGRACION DE LA REFINERIA "10 DE MARZO"
DOF - PENEX - SEDUE

MANUAL DE ESTADISTICAS BASICAS POR ESTADO

INEGI

ANUARIO ESTADISTICO POR ESTADO

INEGI

SINTEISIS GEOGRAFICA POR ESTADO

SPP

100 ACCIONES NECESARIAS

COMISION NACIONAL DE ECOLOGIA

ENERO 1987

ARTICULOS

PHILLIP A. BROWN & DAVID F. GIBSON, "A QUANTIFIED MODEL FOR FACILITY SITE SELECTION", INDUSTRIAL ENGINEERING, MAR-72

JAMES M. BRUCE, Jr., "DEVELOPING A FRAMEWORK FOR LOCATION ANALYSIS" INDUSTRIAL ENGINEERING, MAY-85

JAMES M. BRUCE, Jr., "INVESTIGATING POSSIBLE AREAS AND CHOOSING THE BEST LOCATION" INDUSTRIAL ENGINEERING, JUN-85

ROBERT W. GERJING, "THESE FACTORS AFFECT PLANT LOCATION"
PETROLEUM REFINER, APR-60

W.S. SPEIR, "CHOOSING AND PLANNING INDUSTRIAL SITES"
CHEMICAL ENGINEERING, 30-NOV-70

ROBERT A. WILL, "FINDING THE BEST PLANT LOCATION"
CHEMICAL ENGINEERING, 1-MAY-69

JOHN E. YOON, GEORGE F. COLLINS & NORMAN E. BOLNE "PLANT SITE SELECTION"
CHEMICAL ENGINEERING, 21-JUN-71