

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE CIENCIAS ECONOMICAS
ESCUELA DE ADMINISTRACION DE EMPRESAS

APLICACION DE UN MODELO DE TRANSPORTE
DE MATERIAS PRIMAS
EN UNA FABRICA DE ALCOHOL

TESIS

PRESENTADA A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE CIENCIAS
ECONOMICAS

POR

INGRID SVETLANA DOMINGUEZ GARCIA

PREVIO A CONFERIRSELE EL TITULO DE

ADMINISTRADOR DE EMPRESAS
EN EL GRADO DE LICENCIADO

Guatemala, Octubre de 1999



JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE CIENCIAS ECONOMICAS

Decano	Lic. Miguel Angel Lira Trujillo
Secretario	Lic. Eduardo Antonio Velásquez Carrera
Vocal 1o.	Lic. Rolando de Jesús Oliva Alonzo
Vocal 2o.	Lic. Andrés Guillermo Castillo Nowell
Vocal 3o.	Lic. Víctor Hugo Recinos Salas
Vocal 4o.	P.A.E. Jairo Joaquín Flores Divas
Vocal 5o.	P.C. William Tomás Ramírez Raymundo

TRIBUNAL QUE PRACTICO EL EXAMEN DE AREAS PRACTICAS BASICAS

Area Matemática Estadística	Lic. Luis Manuel Vásquez Vides
Area Administrativa Financiera	Lic. Pedro R. Boburg Castellanos
Area Mercadotecnia y Administración de Operaciones	Lic. Víctor Hugo Hernández Arango

TERNA EXAMINADORA DEL EXAMEN PRIVADO DE TESIS

Presidente	Lic. Víctor Manuel Castro Sosa
Secretaria	Licda. Hilaria Amarilis Cardona Recinos
Examinador	Lic. Oscar Haroldo Quiñónez Porras

Lic. Axel Osberto Marroquín Reyes
Administrador de Empresas
Colegiado. 2562

Licenciado
Miguel Angel Lira Trujillo
DECANO DE LA FACULTAD DE CIENCIAS ECONOMICAS
DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
Ciudad Universitaria, Zona 12

Estimado señor Decano:

De acuerdo al nombramiento de fecha 5 de junio de 1997 de esa decanatura para asesorar a la señorita INGRID SVETLANA DOMINGUEZ GARCIA, en su trabajo de tesis titulado "APLICACION DE UN MODELO DE TRANSPORTE DE MATERIAS PRIMAS EN UNA FABRICA DE ALCOHOL", me permito manifestarle que he cumplido con dicha asesoría y por lo tanto recomiendo que el citado trabajo, sea aceptado para su discusión en el examen privado de tesis de la señorita Domínguez García, previo a optar al título de ADMINISTRADOR DE EMPRESAS, en el grado de LICENCIADO.

Sin otro particular, me suscribo,

Atentamente,



Lic. Axel Osberto Marroquín Reyes
Colegiado 2562



**DECANATO DE LA FACULTAD DE CIENCIAS ECONOMICAS. GUATEMALA,
TREINTA DE SEPTIEMBRE DE MIL NOVECIENTOS NOVENTA Y NUEVE.**

Con base en lo estipulado en el Artículo 23o. del Reglamento de Evaluación Final de Exámenes de Areas Prácticas y Examen Privado de Tesis, el dictamen emitido por el Licenciado Axel Osberto Marroquín Reyes, quien fuera designado Asesor y el Acta ADMON. 41-99, donde consta que la estudiante *INGRID SVETLANA DOMINGUEZ GARCIA*, ha aprobado su Examen Privado de Tesis, se le autoriza la impresión del Trabajo de Tesis, denominado: "APLICACIÓN DE UN MODELO DE TRANSPORTE DE MATERIAS PRIMAS EN UNA FABRICA DE ALCOHOL".

Atentamente,

"DID Y ENSEÑAD A TODOS"

LIC. EDUARDO ANTONIO VELASQUEZ CARRE
SECRETARIO



LIC. MIGUEL ANGEL LIRA TRUJILLO
DECANO



Smp.

DEDICO ESTA TESIS

A DIOS

Por estar siempre a mi lado
guiándome y enseñándome.

A MIS PADRES

**Eva García de Domínguez y
Gilberto Domínguez Herrera**
Con todo mi amor y agradecimiento
Por su esfuerzo.

A MIS HERMANOS

**Virna Irene y
Estuardo**
Por su apoyo y ejemplo.

A MIS AMIGOS

Por su amistad incondicional.

INDICE

	Página
INTRODUCCION	
CAPITULO I	
USO DE LA INFORMACION PARA LA TOMA DE DECISIONES	1
1.1. Manejo de información	1
1.2. Identificación de problemas	3
1.3. Evaluación de opciones	4
1.4. Selección e implementación de modelos	6
CAPITULO II	
PROGRAMACION LINEAL	10
2.1. Antecedentes	10
2.2. Definición	12
2.3. Naturaleza	14
2.4. Aplicaciones	14
2.4.1. Aplicaciones en Mercadotecnia	14
2.4.2. Aplicaciones Financieras	15
2.4.3. Aplicaciones en Administración de la Producción	15
2.4.4. Problemas de Mezclas	16
2.4.5. Análisis global de datos	16
2.5. Suposiciones y limitaciones	17
2.5.1. Función lineal	17
2.5.2. Determinismo	17
2.5.3. Un solo objetivo	17
2.6. Planteamiento	18
2.7. Procedimientos	21
2.7.1. Solución gráfica	21
2.7.2. Método Simplex	25
CAPITULO III	
EL MODELO DE TRANSPORTE	30
3.1. Definición	31
3.2. Métodos de Solución	35
3.2.1. Método de la Esquina Noroeste	36
3.2.2. Método del Mínimo Costo	39
3.2.3. Método de Aproximación de Vogel	42
3.2.4. Método MODI	46
3.2.5. Método "Cruce del Arroyo"	48



CAPITULO IV	
LA INDUSTRIA DEL ALCOHOL	60
4.1. Aspectos históricos de la fabricación del Alcohol	60
4.1.1 La fabricación del alcohol	63
4.1.2. Destilación de líquidos alcohólicos	64
4.1.3. Síntesis de sus componentes o de otros productos químicos	65
4.2. Fermentación y posterior destilación	66
4.3. Usos de la Melaza	73
4.4. Comercialización del alcohol	73
CAPITULO V	
IMPLEMENTACION DE UN MODELO DE TRANSPORTE	
CASO PRACTICO	77
5.1. Objetivo del caso práctico	77
5.2. Planteamiento del problema	78
5.2.1. Hipótesis	79
5.2.2. Situación actual	79
5.3. Desarrollo del Método Esquina Noroeste	88
5.4. Desarrollo del Método Mínimo Costo	92
5.5. Desarrollo del Método Aproximación de Vogel	96
5.6. Revisión del Método del Mínimo Costo	100
5.7. Interpretación de resultados	109
CONCLUSIONES	112
RECOMENDACIONES	113
BIBLIOGRAFIA	114

INTRODUCCION

Programación lineal es una técnica matemática que ayuda al Administrador de Empresas a evaluar un número infinito de estrategias para encontrar una solución óptima. En el presente trabajo se desarrollan distintos métodos de solución del modelo de transporte que son herramientas de programación lineal, para determinar una distribución óptima en el transporte de melaza, que constituye la principal materia prima de una Fábrica de alcohol ubicada en la zona Sur de Guatemala.

El presente estudio proporciona una guía para facilitar al Administrador la aplicación de un modelo determinístico adecuado a las necesidades reales de su empresa, con la finalidad de reducir costos y por lo tanto, ser más competitivo en el mercado.

Se pretende determinar si la elección de un método de transporte, dentro de la programación lineal, ayudará a satisfacer la demanda de transporte de materia prima en una fábrica de alcohol, al mínimo costo.

El capítulo uno describe cómo utilizar adecuadamente la información, identificación de problemas, evaluación de opciones, selección e implementación de modelos.

El capítulo dos define conceptos importantes acerca de Programación lineal, el uso de métodos cuantitativos y de la importancia de la planeación y programación de operaciones para la toma de decisiones en el corto, mediano y largo plazo.

El capítulo tres describe cómo deben aplicarse los métodos de transporte: Esquina Noroeste, Mínimo Costo, Aproximación de Vogel y se desarrolla una solución Óptima utilizando para ello el método Modi y el método "Cruce de arroyo".

En el cuarto capítulo se presentan generalidades de la industria del alcohol: aspectos históricos, de producción, usos de la melaza y comercialización del alcohol.

El capítulo quinto presenta el desarrollo del caso práctico, analiza cada método a través de un programa de distribución, que es la salida final de la aplicación de cada método y determina cuál es el que minimiza los costos de transporte.

El desarrollo del caso práctico tiene como objetivo general, proponer un programa de distribución de materia prima, que optimice los costos de transporte en una fábrica de alcohol ubicada en la Costa Sur del país, ya que en la actualidad no existe ningún tipo de planeación al respecto.

almente, el trabajo se sintetiza en un grupo de conclusiones y
omendaciones que ayudan a visualizar los principales puntos abordados en
trabajo y las sugerencias para que el modelo propuesto funcione
acuadamente.

|



CAPITULO I

USO DE LA INFORMACION PARA LA TOMA DE DECISIONES

Manejo de información

La toma de decisiones administrativas es un proceso racional, en el que se desarrollan y seleccionan cursos de acción para solucionar problemas, la información es la materia prima para la toma de decisiones. La calidad del resultado de la toma de decisiones, depende de la calidad de sus insumos, por tanto, el proceso de obtención de datos adquiere una gran importancia para la toma de decisiones eficientes.

Los datos son hechos o conceptos conocidos o supuestos y generalmente se expresan en forma numérica⁻¹

El tener información adecuada, representa muchas veces una gran inversión de recursos económicos, humanos y de tiempo, los cuales deberán considerarse como parte importante para el éxito en la selección e implementación de los modelos y métodos cuantitativos.

⁻¹ Charles A. Gallagher, Hugh J. Watson. "Metodos Cuantitativos para la toma de decisiones". McGraw Hillamericana de México, S.A. de C.V. 1987. Pag.30.

Los datos pueden ser la información que se maneja a diario, (*datos transacciones*) generalmente este tipo de datos se obtiene de los sistemas contables o programas específicos que se utilicen, pueden obtenerse a través de la observación y experimentación de variables relacionadas, otra fuente, son los estados financieros y económicos de la empresa que refleja en una forma resumida toda esta información. Los sistemas de cómputo, facilitan y agiliza la búsqueda y clasificación de la información por lo que es muy importante que las operaciones diarias del negocio sean imputadas de una forma exacta.

La información que almacena una empresa puede provenir de fuentes internas, externas, internas como las transacciones diarias y externas como estimaciones o proyecciones a futuro, es decir todos aquellos datos externos que se relacionan con la empresa: ventas de la rama a que pertenece la empresa, tasas de interés, índices de crecimiento, estadísticas, etc. Este tipo de información externa puede obtenerse de instituciones especializadas en el área de interés, en informes económicos y financieros que publican instituciones gubernamentales, estudios de mercado, estadísticas de asociaciones y cámaras industriales, redes de información electrónica, etc.

La mayor parte de los datos que almacenan las empresas son objetivos, sin embargo, existe información de tipo subjetivo que tiene como fuente la experiencia de las personas que laboran en el ámbito.

s datos constituyen las entradas de los modelos y proporciona la estructura para desarrollar problemas y resolverlos. En la proporción en que la información es consistente y objetiva, el modelo proporcionará soluciones factibles y equilibradas. Es necesario que el tomador de decisiones, depure la información, alicie los datos pertinentes y utilice, si es necesario, técnicas analíticas para optimizar sus decisiones.

2. Identificación de problemas

El primer paso necesario para resolver un problema es reconocer la existencia del mismo, identificarlo y establecer un objetivo apropiado y medible, que sea consistente con los objetivos generales del negocio y del lugar específico de trabajo.

La identificación de problemas de tipo cuantitativo puede hacerse bajo una base intuitiva o explícita. *Intuitiva*, cuando el que toma la decisión toma como referencia toda la información, pero no utiliza un modelo formal como instrumento para solucionar el problema, es decir, utiliza procesos heurísticos² y objetivos, por medio de los cuales obtiene una solución satisfactoria. *Explícita*, cuando el tomador de decisión utiliza un método objetivo, estructura bien el

²del griego *heuriskein*: inventar o descubrir, con aplicación a procedimientos empíricos.

problema y aplica métodos matemáticos derivados lógicamente para llegar a la solución.

Cuando desarrollamos una relación entre los factores del problema, estamos construyendo la hipótesis, por medio de la cual abstraemos y aislamos factores que pensamos son más importantes para definir y resolver el problema. Estamos reduciéndolo de una condición muy compleja a una más concisa y manejable, como es el planteamiento matricial.

1.3. Evaluación de opciones

El modelaje es una abstracción o representación de situaciones u objetos físicos. Los modelos³ se construyen con dos propósitos: establecer claramente el problema y las relaciones entre sus variables y facilitar la solución del problema a través de una aplicación lógica.

Existen muchas formas distintas de representar situaciones y una de las más comunes es el modelo verbal, este tipo de modelos es construido y comunicado fácilmente, pero su exactitud no es probada con facilidad, se utiliza generalmente para formar cursos de acción. Los modelos físicos

³ Modelo: representación de objetos o situaciones reales.

representaciones en miniatura de los problemas que representan, las pruebas y modificaciones necesarias no son costosas y es fácil hacer diseños preliminares, los modelos analógicos se obtienen de un análisis dimensional detallado que resulta del modelaje físico. Existen también modelos esquemáticos, representados por gráficas, dibujos, ilustraciones y esquemas, por lo general son descriptivos pero a diferencia de los modelos físicos, no pueden probarse con facilidad y pueden carecer de precisión, son efectivos para la comunicación de ideas y formulación del problema de otros tipos de modelo.

Los modelos matemáticos son los más abstractos, ya que no se asemejan al objeto real y carecen de significado para las personas que no están familiarizadas con el lenguaje matemático. Las ventajas de este tipo de modelo son: precisos, relativamente fáciles de transformarlos en cursos de acción, ya que pueden manipularse, probarse o rechazarse fácilmente.

Los modelos cuantitativos facilitan el análisis de sistemas para la toma de decisiones, son fáciles de usar, sencillos, de bajo costo y dan como salida una solución óptima.

1.4. Selección e implementación de modelos

Existen varias consideraciones, que ayudan a seleccionar un modelo adecuado:

- El analista debe estar familiarizado con el método que utiliza.
- El método seleccionado debe adecuarse a la situación a la que se está aplicando.
- El modelo debe proporcionar la cantidad requerida de poder descriptivo.
- Debe considerarse el tiempo disponible antes de tomar una decisión acerca de un modelo.
- Debe considerarse recursos necesarios al elegir un modelo.
- Estimación de costos.
- El analista debe conocer la disponibilidad de datos.

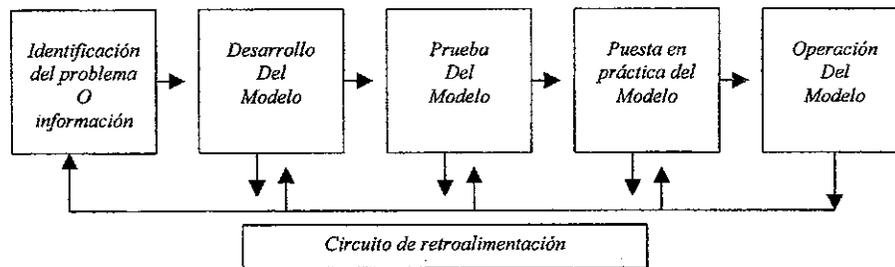
La decisión de emplear o no explícitamente un método cuantitativo depende sobre todo de las consideraciones de costo/beneficio. Cuando los beneficios incrementales derivados del uso de métodos exceden los costos incrementales, el método debe aplicarse.⁴

⁴ Gallagher, Ch., Watson H.J. "Metodos cunatitativos para la toma de decisiones" McGraw Hill, México, 1995 Pag.540.

Al elegir un modelo y construir la hipótesis, se trata de reunir los factores más importantes, pero es necesario estar conscientes que siempre existirán factores que no se encuentran explícitamente incorporados en el modelo, de tal forma que al efectuar un análisis, éste se ajuste en forma correcta a la realidad; este proceso va de la mano con la aplicación del juicio, experiencia y derivaciones lógicas.

La implementación de un modelo, requiere un gran esfuerzo de muchas personas: usuarios, programadores, administradores, tomador de decisiones, etc.

El proceso de desarrollo de un modelo puede aproximarse a los siguientes pasos:



Fuente: Métodos cuantitativos para la toma de decisiones de Administración
Charles A. Gallagher, Hugh J. Watson pag. 543.

Una vez formulado el problema, se decidirá si se utiliza un modelo o simplemente se modifica algún procedimiento. Al desarrollar el modelo, deberá involucrarse al usuario, para asegurarse que las salidas del modelo formuladas por el analista, sean utilizadas. También deben intervenir los mandos altos de la empresa para seguir de cerca los ajustes y avances del modelo. El desarrollo de un modelo requiere del trabajo de un equipo que se comprometa a llevar a la práctica su implementación.

Para saber si un modelo es una representación legítima, es necesario probarlo para asegurarnos que cumple con los requerimientos para los cuales fue construido. La exactitud se comprobará analizando: los supuestos sobre los cuales descansa el modelo, las variables que intervienen y cómo se relacionan, reglas de decisión de situaciones específicas, sintaxis de los programas, la salida del modelo teórico debe ser distinta a la salida del modelo real, necesidades del usuario.

El desarrollo de modelos requiere muchas veces de cambios y ajustes conforme se va identificando con la realidad.

Poner en práctica el modelo significa incluirlo dentro de los sistemas y procesos de la organización, deberá proporcionársele a los usuarios, toda la información necesaria para su uso, si fuera necesario, dar entrenamiento para asegurarse de

una correcta aplicación. Una vez el usuario tiene todas las herramientas, podrá operar el modelo y darle retroalimentación, para evitar que se vuelva obsoleto o que proporcione información errónea.

El paso final del proceso de selección e implementación de un modelo es la preparación de reportes gerenciales con base a la solución del modelo. Es necesario que este tipo de reporte sea claro y de fácil comprensión para el que tomará la decisión final.

Además de la etapa final, debe considerarse el análisis cualitativo del administrador que ayude a la toma de la mejor decisión. Deberá existir un seguimiento de la implantación del modelo y una cercana supervisión que ayudará a retroalimentar cada etapa.

CAPITULO II

PROGRAMACION LINEAL

2.1. Antecedentes

Los problemas de optimización no son nuevos, soluciones generales fueron planteadas por grandes matemáticos del siglo XVII Y XVIII (Newton, Leibniz, Lagrange, Bernuolli) quienes desarrollaron cálculos infinitesimales y cálculos de variaciones.

La resolución de problemas a través de cálculos matemáticos ha cobrado mucho interés en los últimos años ya que ha desarrollado técnicas administrativas modernas, convirtiendo a la programación lineal en una herramienta importante en la economía. Uno de los descubrimientos más importantes, lo realizó George B. Dantzig en 1947, a quien se le atribuye el método simplex para resolver problemas de programación lineal.⁵

El primer problema de programación lineal fue formulado en 1941, en 1947 G. Stigler descubrió otro problema específico: una dieta óptima, pero fue Dantzig

⁵ Dettman, J "Introducción al álgebra lineal y a las ecuaciones diferenciales" McGraw Hill Interamericana, México D.F. 1975 Pag.35.

quien formulara en términos matemáticos precisos un problema general de programación lineal.

Dantzig y otros colegas del U.S. Department of The Air Force, (Departamento de la Fuerza Aérea) constituyeron un grupo llamado Proyecto SCOOP (Scientific Computation of Optimal Programs) en donde las aplicaciones buscadas para la programación lineal eran esencialmente militares.

El término "PROGRAMACIÓN LINEAL" apareció por primera vez en el título de una publicación de Dantzig en 1949, también fue escuchado en una histórica conferencia organizada por The Cowles Commission for Research in Economics y sus procedimientos fueron publicados bajo la dirección de T.C. Koopmans. Los primeros resultados de la teoría de la dualidad basados en las notas inéditas de J. Von Newman aparecieron también en los Papers de esa misma colección.

Posteriormente de 1949, paralelamente a la actividad de Cowles Commission, un gran número de matemáticos y economistas contribuyeron individualmente al desarrollo de distintos aspectos de la programación lineal. Entre otros: The RAND Corp. con G.B. Dantzig y W. Orchard, L.R. Ford, D.R. Fulkerson y D. Gale, el Departamento de Matemáticas de Princeton University con A.W. Tucker, H.W. Kuhn y D. Gale, La Graduate School of Industrial Administration of Carnegie Institute of Technology con A. Charnes y W.W. Cooper. Los primeros grupos trabajaron principalmente con programas de teoría matemática y su cálculo a

través de computadoras electrónicas y el grupo de Princeton, con el Método Húngaro de H.W. Kuhn para problemas de asignación y métodos de R. Gomory para cálculo integral a finales de 1958. El grupo de Carnegie contribuyó grandemente al desarrollo de aplicaciones industriales de programación lineal.

En los últimos años, los avances tecnológicos y especialmente el desarrollo de micro y macro procesadores, han coadyuvado al desarrollo de métodos para la solución de problemas de mayor alcance.

2.2. Definición

A continuación se citan algunas definiciones de distintos autores:

"La programación lineal es un método determinista de análisis para elegir la mejor entre muchas alternativas. Cuando esta mejor alternativa incluye un conjunto coordinado de actividades, se le puede llamar plan o programa. La palabra programa significa seleccionar la mejor combinación de actividades."⁶

⁶ Gallagher, Ch. Watson H.J. "Métodos cuantitativos para la toma de decisiones" McGraw Hill Interamericana, México 1995. Pag. 158.

"Implica maximizar o minimizar una función lineal (la función objetivo) sujeta a un sistema de restricciones, que son desigualdades o ecuaciones lineales."⁷

"Es maximizar o minimizar funciones lineales de varias variables sujetas a restricciones lineales."⁸

"Es la variedad más simple de problemas de programación, en la cual la función objetivo así como las restricciones de desigualdad son todas lineales."⁹

La programación lineal hace posible evaluar un número infinito de estrategias de producción y encontrar la alternativa con el menor costo. Nos da una metodología poderosa no sólo para resolver el problema sino para evaluar otras soluciones que se pudieran sugerir para encontrar la mejor.¹⁰

"El caso especial en que la medida de funcionamiento o costo es una función lineal y las restricciones para la disponibilidad o utilización de recursos se expresan como ecuaciones lineales o desigualdades, recibe el nombre de programación lineal."¹¹

⁷ Haussler, P. "Matemática para administración y economía" Grupo Iberoamérica, México, 1987. Pag.321.

⁸ Stanley Grossman, "Aplicaciones de Algebra Lineal" Grupo Editorial Iberoamérica, México 1988. Pag.15

⁹ Chiang, A "Métodos fundamentales de economía matemática" McGraw Hill Interamericana, México, 1987, Pag.665.

¹⁰ Schroeder, R. "Administración de operaciones" McGraw Hill México 1992, Pag. 468.

¹¹ Weber, Jean. "Matemática para administración y economía" Grupo Iberoamérica, México, 1982, Pag.32.

2.3. Naturaleza

Los modelos de optimización lineal combinan: un generador de alternativas, un modelo predictivo y un evaluativo con una prueba de optimidad. La combinación de éstos elementos funciona como un sistema para producir la mejor solución posible para los criterios y condiciones establecidos.

Los modelos de programación lineal se caracterizan por expresiones matemáticas lineales determinísticas. (no toma en consideración el riesgo ni la incertidumbre) Se supone que los parámetros del modelo se conocen con certidumbre. Se utiliza con mayor frecuencia cuando se intenta asignar algún recurso limitado o escaso, con el objeto de tomar decisiones que utilicen el recurso en cuestión en forma tal que se optimice un criterio establecido. (ya sea que se maximice o minimice)

2.4. Aplicaciones

2.4.1. Aplicaciones en Mercadotecnia

Para seleccionar medios publicitarios, asignar presupuestos fijos de publicidad a diversos medios. (televisión, radio, periódico, pautas en cine)

El principal objetivo es maximizar la exposición a la audiencia y las restricciones son representadas por políticas de la compañía, requisitos de los medios, etc.

2.4.2. Aplicaciones Financieras

En la selección de una cartera óptima, inversión en acciones, bonos, títulos valores, etc., partiendo de varias opciones de inversión. El planteamiento común en este tipo de problema es maximizar el rendimiento esperado o la minimización de riesgo. Las restricciones pueden referirse a tiempo, leyes estatales, políticas de la compañía, máximo riesgo, tasas de mercado, etc.

Como estrategia de combinación financiera, implica la selección de medios para financiar proyectos de cualquier tipo. En este tipo de problemas se busca un apalancamiento adecuado para cada proyecto.

2.4.3. Aplicaciones en Administración de la Producción

Pueden hacerse múltiples aplicaciones a la planeación y programación de operaciones, el uso de programación lineal ayuda a optimizar operaciones y minimizar costos en períodos preestablecidos. El administrador puede a través de este método determinar niveles de producción que satisfagan eficientemente la demanda, considerando restricciones de tiempo, espacio, capacidad, etc.

2.4.4. Problema de Mezclas

Se refiere a la solución de problemas que implican combinar dos o más recursos para la fabricación de productos. El administrador deberá establecer las cantidades óptimas de cada elemento que satisfaga las especificaciones de los productos y las demandas a un costo mínimo.

2.4.5. Análisis Global de Datos

Conocido por sus siglas AGD o DEA (Data Envelopment analysis)

“Es una nueva aplicación de la programación lineal que se ha estado utilizando para medir la eficiencia relativa de unidades de operación con las mismas metas y objetivos.”¹²

Se mide el desempeño de cada unidad en relación al desempeño de todas las unidades operativas pertenecientes al mismo sistema.

En todos los problemas de programación lineal, el objetivo es la maximización o minimización de alguna cantidad.

¹² Anderson, Sweeney D. Williams, “Introducción a los modelos cuantitativos” Iberoamérica, Pag.154.

2.5. Suposiciones y Limitaciones

2.5.1. Función Lineal

Todas las variables deben ser lineales (exponente igual a uno) y los coeficientes constantes. (función objetivo y restricciones) Estas suposiciones limitan a que los problemas deban tener relaciones lineales; excluye aquellos que guardan relaciones cuadráticas o no lineales.

2.5.2. Determinismo

La técnica determinista significa que se conoce con certeza el comportamiento de las variables y de sus coeficientes.

2.5.3. Un solo objetivo

Todos los problemas de programación lineal deben tener un solo objetivo, de lo contrario, puede no alcanzar el objetivo de encontrar una solución óptima.

Una limitación muy importante de la programación lineal es el desarrollo del método, ya que cuando el problema posee muchas variables y restricciones, el cálculo toma mucho tiempo y si no se tiene acceso a una computadora, la obtención de la solución requerirá más tiempo y se dificultará el método de cálculo. Otra restricción es la inversión en obtención de información: para obtener una solución óptima y eficiente, es necesario conocer la mayor cantidad posible de información y variables que expliquen de una mejor forma la situación en análisis, el costo de obtener esta información es generalmente elevado.

2.6. Planteamiento

A través del planteamiento matemático, se logra plasmar en un conjunto de relaciones matemáticas un problema real, así:

Un administrador desea establecer un programa de producción con costos mínimos en la elaboración combinada de dos productos 1 y 2. La producción total combinada de ambos productos debe ser cuando menos de 700 galones. También debe cumplirse, con el pedido de un cliente que solicitó 250 galones como mínimo, del producto 1. El producto 1 requiere 2 horas para ser procesado y el producto 2 requiere de 1 hora, se tiene una disponibilidad de 1200 horas en

producción son de Q.4.00 por galón para el producto uno y de Q.6.00 para el producto dos.

RESTRICCIONES	PRODUCTOS		Disponibilidad	Unidad Medida
	1 X1	2 X2		
PRODUCCION COMBINADA	1	1	≥ 700	GL.
PEDIDO	1	-	≥ 250	GL.
HORAS	2	1	≤ 1200	HRS.
COSTO PRODUCCION	Q.4.00	Q.6.00		

Inicialmente, se identifican como variables de decisión (terminología de programación lineal) a los componentes que forman los elementos de decisión, en otras palabras, se plantea la función objetivo, en función de las variables decisorias.

$$\text{MINIMIZAR } Z = 4X_1 + 6X_2$$

En donde:

Z = Costo a minimizar

X_1 = número de galones de producto uno

X_2 = número de galones de producto dos

Los coeficientes de estas variables representan el costo de producir con cada uno de estos insumos.

Posteriormente, se consideran las restricciones:

$$1X_1 + 1X_2 \geq 700$$

Ya que la producción combinada de ambos productos debe ser cuando menos de 700 galones.

$$1X_1 \geq 250$$

Para satisfacer el pedido de producto uno, se sabe que X_1 debe ser cuando menos 250 galones.

$$2X_1 + 1X_2 \leq 1200$$

La limitación de tiempo de producción es de 1200 horas.

$$X_1, X_2 \geq 0$$

Restricción de no negatividad.

Significa que X_1 y X_2 solo pueden asumir valores de "0" ó más, pero no negativos.

2.7. Procedimientos

2.7.1. Solución gráfica

Un problema de programación lineal puede resolverse por medio del método gráfico, siempre que tenga sólo dos variables de decisión.

Procedimiento:

1. Planteamiento de restricciones del problema en forma de igualdades

a) $1X_1 = 250$

b) $1X_1 + 1X_2 = 700$

c) $2X_1 + 1X_2 = 1200$

2. Determinar puntos con las ecuaciones planteadas como igualdades, para localizar en una gráfica las coordenadas cartesianas.

PUNTOS

(X_1, X_2)

a) $1X_1 = 250$

$X_1 = 250$

$(250, 0)$

PUNTOS

 (X_1, X_2)

b) $1X_1 + 1X_2 = 700$

Cuando $X_1 = 0$

$0X_1 + 1X_2 = 700$

$X_2 = 700$ (0, 700)

Cuando $X_2 = 0$

$1X_1 + 0X_2 = 700$

$X_1 = 700$ (700, 0)

c) $2X_1 + 1X_2 = 1200$

Cuando $X_1 = 0$

$0X_1 + 1X_2 = 1200$

$X_2 = 1200$ (0, 1200)

Cuando $X_2 = 0$

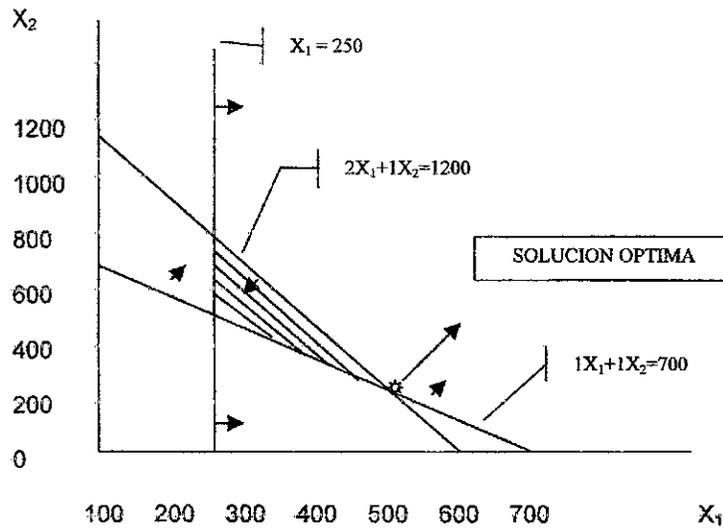
$2X_1 + 0X_2 = 1200$

$X_1 = 1200/2$

$X_1 = 600$ (600, 0)

3. Posteriormente se trazan las líneas rectas con los puntos obtenidos en el paso anterior y se sombrea o gráfica el área solución tomando en cuenta el signo de las desigualdades.

SOLUCION POR EL METODO GRAFICO



5. Localizar los vértices solución, para los puntos donde exista intersección.

Determinar los valores en donde se optimiza la función por medio de ecuaciones simultáneas:

$$1 X_1 + 1X_2 = 700 \quad (-1)$$

$$2 X_1 + 1X_2 = 1200$$

$$- X_1 - X_2 = -700$$

$$2 X_1 + 1X_2 = 1200$$

$$X_1 = 500$$

$$500 + X_2 = 700$$

$$X_2 = 700 - 500$$

$$X_2 = 200$$

6. Comprobar los vértices solución, obtenidos en la función objetivo y restricciones del problema:

EN F.O.

$$\text{MINIMIZAR } Z = 4X_1 + 6X_2$$

$$Z = 4(500) + 6(200)$$

$$Z = 2000 + 1200$$

$$Z = 3200$$

EN RESTRICCIONES

$$500 + 200 \geq 700 \quad 1X_1 + 1X_2 \geq 700$$

$$700 \geq 700$$

$$500 \geq 250 \quad 1X_1 \geq 250$$

$$2(500) + 200 \leq 1200 \quad 2X_1 + 1X_2 \leq 1200$$

$$1000 + 200 \leq 1200$$

$$1200 \leq 1200$$

7. Análisis de resultados:

El punto de solución óptima es 200 de X_2 y 500 de X_1 , debido a que éste es el punto en donde se minimiza el costo de la función objetivo y restricciones planteadas.

250 galones de producto uno

500 galones de producto dos

Minimizan el programa de producción, con las restricciones planteadas en Q.3200.00

2.7.2. Método Simplex

Este método presenta un procedimiento algebraico para la solución de problemas de programación lineal que tienen más de dos variables de decisión, y que por lo tanto no pueden ser resueltos a través del método gráfico. En el mercado existe actualmente una gran cantidad de programas de computadora que ayudan a resolver problemas con un gran número de variables y restricciones.

Continuando con el ejemplo anterior, y resuelto a través del método gráfico:

$$\text{MINIMIZAR } Z = 4X_1 + 6X_2$$

Sujeto a:

$$1X_1 \geq 250$$

$$1X_1 + 1X_2 \geq 700$$

$$2X_1 + 1X_2 \leq 1200$$

$$X_1, X_2 \geq 0$$

1. Para convertir el problema en un problema de minimización deberán estar todas las ecuaciones homogéneas, es decir, todas \geq **mayor o igual que**.

Por regla, para convertir una desigualdad \leq **menor o igual que** debe multiplicarse toda la ecuación por **(-1)**.

$$2X_1 + 1X_2 \leq 1200 \quad (-1)$$

entonces:

$$-2X_1 - 1X_2 \geq -1200$$

2. Se forma la matriz de coeficientes:

X_1	X_2	C
1	0	250
1	1	700
-2	-1	-1200
4	6	0

3. Se saca la transpuesta de la matriz:

x_1	x_2	x_3	C
1	1	-2	4
0	1	-1	6
250	700	-1200	0

4. Se forma el primer tablero Simplex, agregando variables de holgura: # de filas = a # de variables de holgura. Es decir, se asocia una matriz identidad.

Primer tablero simplex:

x_1	x_2	x_3	s_1	s_2	C
1	1	-2	1	0	4
0	1	-1	0	1	6
250	700	-1200	0	0	0

5. Se cambia de signo a la última fila:

$$-250 \quad -700 \quad 1200$$

6. Se elige el elemento pivote: se elige el número mas negativo: -700

Y se divide cada elemento de la columna de coeficientes entre cada número de la columna del más negativo (columna de -700)

$$4/1 = 4$$

$$6/1 = 6$$

Se elige el menor cociente: 4

x_1	x_2	x_3	s_1	s_2	C
1	1	-2	1	0	4
0	1	-1	0	1	6
-250	-700	1200	0	0	0

En este tablero, uno es el elemento pivote.

7. Se convierte en uno el elemento pivote, multiplicándolo por su recíproco y en cero el resto de la columna:

En este ejemplo, el elemento pivote ya es uno, así que se copia la fila completa.

Para convertir en cero el resto de la columna:

$$(-1)(1) = -1 + 0 = -1 \text{ (este es el primer número de la segunda fila)}$$

$$(-1)(1) = -1 + 1 = 0$$

$$(-1)(-2) = 2 + -1 = 1$$

$$(-1)(1) = -1 + 0 = -1$$

$$(-1)(0) = 0 + 1 = 1$$

$$(-1)(4) = 0 + 6 = 2$$

Se repite el procedimiento hasta tener el resto de la columna en ceros:

x_1	x_2	x_3	s_1	s_2	C
1	1	-2	1	0	4
-1	0	1	-1	1	2
450	0	-200	700	0	2800

(-1) (700)

Se repite el procedimiento hasta que la última fila sean ceros o valores positivos:

x_1	x_2	x_3	s_1	s_2	C
-1	1	0	-1	2	8
-1	0	1	-1	1	4
250	0	0	500	200	3200

(2) (200)

La solución final se encuentra en las variables de holgura:

{



$$X_1 = 500$$

$$X_2 = 200$$

En la columna de coeficientes aparece la cantidad en Q. con que se minimiza el problema. Q.3,200.

Como se puede observar, la solución obtenida es igual a la obtenida en el método gráfico.

Las comprobación de la función objetivo y de las restricciones, son similares a la del método gráfico.

CAPITULO III

EL MODELO DE TRANSPORTE

El modelo de transporte es una técnica para la solución de problemas específicos de programación lineal. En muchas empresas, el costo de transportación es un rubro muy importante en la estimación del precio de los productos, y el uso de este tipo de instrumentos facilita el análisis que permitirá tomar decisiones administrativas que coadyuven la economía de la empresa.

"El problema de transporte se presenta con frecuencia cuando se planea la distribución de bienes y servicios, a partir de varios lugares de suministro y hacia varias ubicaciones de demanda, el objeto de un problema de transporte es minimizar el costo de transportar artículos desde los orígenes hasta los destinos"¹³

¹³ Anderson, Sweeney D, Williams T, "Introducción a los modelos cuantitativos" Iberoamérica, México, 1993, Pag.269.

3.1. Definición

El método de transporte es un caso especial del método general de programación lineal, es útil para solucionar problemas que tratan con asignaciones de materiales desde puntos de envío hasta puntos de recibo⁻¹⁴

El método de transporte y el método de asignación son sólo técnicas especiales para resolver ciertos tipos de problemas de Programación lineal⁻¹⁵

Los modelos de transporte tienen por objetivo encontrar la alternativa de ubicación de costo más bajo⁻¹⁶

Un caso de transporte se formula inicialmente como un problema de Programación Lineal, es decir, a través de un sistema de ecuaciones; para posteriormente plantearlo como un arreglo ordenado de números en filas y columnas. (forma matricial)

Los primeros pasos comunes a los tres métodos mencionados, son los siguientes:

¹⁴ Hopeman, P "Matemática para administración y economía" Iberoamérica, México, 1987. Pag. 595

¹⁵ Gallagher, Ch. Watson, "Métodos Cuantitativos para la toma de decisiones" McGraw Hill. Mexico 1995 Pag. 306.

¹⁶ Schroeder, R "Administración de Operaciones" Interamericana, Mexico 1992 Pag. 509.

1. Planteamiento del problema

Se refiere a un análisis preliminar de la información disponible, aquí se define:

- Objetivo
- Unidades de análisis
- Orígenes y destinos (oferta y demanda)
- Costos

2. Planteamiento de la función objetivo (F.O.)

Se plantea el problema como una función y las restricciones en forma de desigualdades.

3. Convertir en ecuaciones las restricciones del problema agregando variables de holgura¹⁷

Cuando las ecuaciones que representan las restricciones son desigualdades, es necesario agregar una variable de holgura que permita convertirlas en igualdad, es decir, hacerlas comparables.

¹⁷ Variable de Holgura: (slack) Variables positiva o negativa que se usa para convertir una desigualdad en igualdad.

4. Planteamiento en forma matricial

Este planteamiento se logra al colocar los coeficientes de las ecuaciones formadas en el paso anterior en forma ordenada de filas y columnas.

Ejemplificando:

1. Objetivo: Minimizar costos

Unidad de análisis: Producto X_{ij}

Origen: (disponibilidad, oferta) O_i

Destino: (requerimiento, demanda) D_j

Costo: Por unidad de medida (metros, galones, litros, libras, kilos, grados, etc.) C_{ij} .

En donde:

X_{ij} = es la cantidad de productos a transportar del origen i al destino j

C_{ij} = costo de transportar una unidad del origen i al destino j

m = número de filas

n = número de columnas.

2. Verificar si es un problema estándar

Cuando la cantidad total de oferta no es igual al de la demanda, el problema se resuelve agregando un renglón o columna falso, de manera que este renglón o columna, sirva para colocar el exceso de oferta o demanda. Los costos en este renglón ó columna serán iguales a cero.

3. F.O. MINIMIZAR

$$Z = C_{11} X_{11} + C_{12} X_{12} + C_{13} X_{13} + C_{14} X_{14} + \dots C_{mn} X_{mn}$$

$$C_{21} X_{21} + C_{22} X_{22} + C_{23} X_{23} + C_{24} X_{24} + \dots C_{mn} X_{mn}$$

$$C_{31} X_{31} + C_{32} X_{32} + C_{33} X_{33} + C_{34} X_{34} + \dots C_{mn} X_{mn}$$

Sujeto a:

Restricciones de la capacidad limitada de oferta y demanda.

$$X_{11} + X_{12} + X_{13} + X_{14} + \dots X_{mn} = O_1$$

En donde, la sumatoria de los productos enviados del origen i al destino j debe ser igual a la capacidad de O_1 .

$$X_{11} + X_{21} + X_{31} + \dots X_{mn} = D_1$$

En donde, la sumatoria de los productos enviados del origen i al destino j debe ser igual a la capacidad de D_1 .

4. MATRIZ DE ORIGEN Y DESTINO

		D_1	D_2	D_3	D_4	OFERTA
		C_{11}	C_{12}	C_{13}	C_{1n}	
O_1		X_{11}	X_{12}	X_{13}	X_{1n}	O_1
		C_{21}	C_{22}	C_{23}	C_{2n}	
O_2		X_{21}	X_{22}	X_{23}	X_{2n}	O_2
		C_{m1}	C_{m2}	C_{m3}	C_{mn}	
O_3		X_{m1}	X_{m2}	X_{m3}	X_{mn}	O_3
DEMANDA		D_1	D_2	D_3	D_4	TOTAL

condiciones de frontera

3.2. Métodos de solución

Los métodos más conocidos son:

- Método Esquina Noroeste
- Método del Mínimo Costo
- Método de Aproximación de Vogel

Otros métodos utilizados

- Método MODI
- Método Cruce del Arroyo

3.2.1. Método de Esquina Noroeste

Recibe este nombre por la forma en que inicia el análisis de distribución (esquina noroeste) de la esquina superior izquierda.

En este método, la distribución de los productos se inicia en la esquina noroeste (esquina superior izquierda) y se avanza de izquierda a derecha y de arriba hacia abajo.

Procedimiento:

1. Comenzar en la casilla de la esquina noroeste y asignar tantas unidades como sea posible en esa ruta.
2. Continuar asignando, siguiendo un recorrido hacia la derecha y hacia abajo, hasta que todas las demandas se satisfagan, y las ofertas se agoten, es decir agotando la existencia disponible del origen, hasta satisfacer todas las demandas.
3. Elaborar el programa de Distribución.

Ejemplificando:

(Para efectos de ejemplo, se ha asignado costos ficticios de transportación de **O** a **D**, así como valores totales en disponibilidad de oferta y requerimientos de demanda)

Nótese que se agregó una variable de holgura, (fila X) que permite igualar el total de oferta y demanda. (total oferta=31 y total demanda=34, X=3)

	D ₁	D ₂	D ₃	D ₄	OFERTA	
O ₁	40	20	30	25	14	14-7=7 7-7=0
	7	7				
O ₂	25	35	40	35	8	8-1=7 7-7=0
		1	7			
O ₃	35	25	45	30	9	9-6=3 3-3=0
			6	3		
X	0	0	0	0	3	3-3=0
DEMANDA	7	8	13	6		
	7-7=0	8-7=1	13-7=6	6-3=3		
		1-1=0	6-6=0	3-3=0		

Se inicia por asignar unidades en la esquina noroeste, (primer fila y primer columna) se visualiza una demanda de 7, (D₁) la que será suplida por 7 de las 14 unidades disponibles en O₁; después de asignar las 7 unidades, se cancelan el resto de casillas de la columna ya agotada. (Representada por el área sombreada) y se rebajan del total (7-7=0) en igual forma que se rebaja la oferta disponible. (14-7=7) En forma sucesiva deberá repetirse el procedimiento empezando cada vez que se agote la demanda, con la esquina noroeste de la matriz.

Se debe tomar en cuenta que al tomar una decisión de asignación, debe revisarse la existencia del total de oferta y demanda, y utilizar la de menor cantidad.

Deberá agotarse siempre la demanda antes de moverse hacia abajo o hacia la derecha, para evitar confusiones, puede tacharse el resto de casillas de la fila o columna agotada.

PROGRAMA DE DISTRIBUCION

DE ORIGEN	A DESTINO	CANTIDAD	COSTO Q.	VALOR Q.
O ₁	D ₁	7	40	280,00
O ₁	D ₂	7	20	140,00
O ₂	D ₂	1	35	35,00
O ₂	D ₃	7	40	280,00
O ₃	D ₃	6	45	270,00
O ₃	D ₄	3	30	90,00
X	D ₄	3	0	0,00
				Q 1.095,00

Este programa muestra un plan de transporte, indicando los costos que representaría la utilización de las rutas que obtuvimos como primera solución a través del método de la Esquina Noroeste.

El método utilizado, minimiza el costo de transporte en **Q.1,095.00**, cantidad que puede ser comparada con la solución del resto de métodos, para tomar la mejor decisión de rutas a seguir.

3.2.2. Método del Mínimo Costo

El método (LCM) por sus siglas en inglés Less Cost Method, es muy útil para encontrar una solución inicial, y se basa en la intuición y habilidad del usuario, para encontrar dentro de la matriz, las rutas menos costosas.

Procedimiento:

1. Buscar la casilla que tenga el menor costo en la matriz. (si existieran casillas con variables de holgura, deben ignorarse y si hay dos valores iguales, se debe elegir una arbitrariamente)
2. Asignar la mayor cantidad posible a la casilla seleccionada.
3. Reducir la oferta y demanda en la cantidad asignada en el paso anterior.
4. Elegir la casilla con el siguiente costo menor y repetir el proceso hasta que se satisfagan todas las demandas y se agoten todas las ofertas.
5. Elaborar el programa de distribución.

Ejemplificando:

Se seguirá utilizando la misma matriz del problema anterior, para visualizar de una mejor manera la diferencia en los resultados entre los distintos métodos.

	D ₁	D ₂	D ₃	D ₄	OFERTA	
O ₁	40	20	30	25		
			8		6	14-8=6 6-6=0
O ₂	25	35	40	35		
		7		1		8-7=1 1-1=0
O ₃	35	25	45	30		
				9		9-9=0
X	0	0	0	0		
				3		3-3=0
MANDA	7	8	13	6	34	
	7-7=0	8-8=0	13-1=12 12-9=3 3-3=0	6-6=0		

Se busca en toda la matriz, la casilla que tenga el menor costo, (O₁,D₂) que en el ejemplo es de 20 y se le asigna la cantidad de oferta necesaria para cubrir la demanda que indica esa casilla. Asignamos 8 unidades y se cancelan el resto de casillas de la columna D₂. (Representada por el área sombreada) en esa misma columna, se rebajan del total (8-8=0) en igual forma que se rebaja de la oferta disponible de la fila O₁. (14-8=6) En forma sucesiva deberá repetirse el

El sombreado es una herramienta que ayuda a visualizar de una mejor forma, las casillas que aún no han sido agotadas en oferta ó demanda, puede aplicarse cualquier otro tipo de marca, que facilite el desarrollo del procedimiento.

PROGRAMA DE DISTRIBUCION

DE ORIGEN	A DESTINO	CANTIDAD	COSTO Q.	VALOR Q.
O ₁	D ₂	8	20	160,00
O ₁	D ₄	6	25	150,00
O ₂	D ₁	7	25	175,00
O ₂	D ₃	1	40	40,00
O ₃	D ₃	9	45	405,00
X	D ₃	3	0	0,00
				Q 930,00

El método del mínimo costo, minimiza el costo total de transporte en **Q.930.00**.

3.2.3. Método de Aproximación de Vogel

El método de Aproximación fue creado para eliminar el número de iteraciones¹⁸, para facilitar el procedimiento manual y se le llama **VAM**, por sus siglas en inglés: Vogel Approximation Method.

Para minimizar el número de iteraciones, este método examina fila y columna y asigna un costo de penalización, (diferencia entre los dos costos más pequeños de una fila o columna) que permite saber cuál será el costo incrementado por cada fila y columna, de no utilizarse el menor costo posible.

Procedimiento:

1. Para cada fila con una oferta disponible y cada columna con una demanda insatisfecha, se calcula un costo de penalización.
2. Se identifica la fila o columna que tenga el mayor costo de penalización y si existieran dos del mismo valor, se elige uno de forma arbitraria.
3. Se elige el costo más bajo de la fila o columna seleccionada en el paso anterior y se le asigna la mayor cantidad posible.
4. Se reduce la oferta y demanda en la cantidad asignada y se sombrea o tacha el resto de casillas ya agotadas.

¹⁸ Iteración: repetición de un procedimiento dado.

5. Se procede nuevamente con los pasos anteriores, hasta agotar las ofertas y satisfacer las demandas.
6. Elaborar el programa de distribución.

Ejemplo:

Siguiendo con la matriz planteada tenemos:

A cada fila y columna de la matriz, se le asigna un costo de penalización (**CP**) (En fila **O₁**, el costo menor es de 20 y el que le sigue en valor es 25, entonces $20 - 25 = 5$) Posteriormente, se elige el costo de penalización mayor, (**10**) y en esta ruta, se busca el costo menor, asignando la mayor cantidad de unidades posible. Se sombrea o tacha el resto de casillas de la fila o columna agotada, se rebajan las ofertas y demandas y se calcula nuevamente los costos de penalización, repitiendo el procedimiento hasta que las demandas se agoten por completo.

PROGRAMA DE DISTRIBUCION

DE ORIGEN	A DESTINO	CANTIDAD	COSTO Q.	VALOR Q.
O ₁	D ₃	13	30	390,00
O ₁	D ₄	1	25	25,00
O ₂	D ₁	7	25	175,00
O ₂	D ₄	1	35	35,00
O ₃	D ₂	8	25	200,00
O ₃	D ₄	1	30	30,00
X	D ₄	3	0	0,00
TOTAL		34		Q 855,00

Este método minimiza el costo total de transporte en **Q.855.00**.

Después de obtener una solución inicial, es posible que el resultado no sea el óptimo, por lo que puede ser evaluado y mejorado a través de otros métodos:

3.2.4. Método MODI

“Procedimiento para determinar el cambio unitario en el costo correspondiente a la asignación de flujo a un arco no utilizado en el método simplex de transporte”¹⁹

El Método de Distribución Modificada (MODI) utiliza la estrategia de probar las casillas vacías, (rutas no usadas) calculando el costo marginal por usar dicha casilla. Si existe una casilla con costo marginal negativo, se revisa la solución y se asigna flujo de entrada a la ruta, ajustando las cantidades de las casillas ocupadas, con la finalidad de conservar una solución factible.

Procedimiento:

1. Este método define un índice U_i para cada fila y un índice V_j para cada columna en todas las casillas que tengan un valor positivo. Estos índices deberán cumplir con la condición:

¹⁹ Anderson, Sweeney, Williams, “Introducción a los modelos cuantitativos” Iberoamérica, Pag.297.

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

Donde:

U_i = índice de evaluación para la fila i

V_j = índice de evaluación para la columna j

C_{ij} = costo unitario de transportar por la ruta (i, j)

Se obtiene entonces un sistema de ecuaciones:

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

2. Para darle valor a los índices, se le asigna un valor arbitrario a U_i o a V_j y posteriormente se resuelve la ecuación para obtener el valor del resto. Es recomendable elegir $U_i = 0$ y resolver las ecuaciones para encontrar el resto de índices.
3. Se resuelve el sistema de ecuaciones y se llega a un valor para cada índice U_i y V_j .
4. Para cada casilla no ocupada, deberá calcularse:

$$e_{ij} = C_{ij} - U_i - V_j$$

Donde:

e_{ij} = cambio que se daría en el costo total, por unidad, al asignar una unidad de flujo a la ruta correspondiente.

C_{ij} = costo unitario de transportar por la ruta (i, j)

U_i = índice de evaluación para la fila i

V_j = índice de evaluación para la columna j

5. Se replantea la representación matricial de la solución inicial, incluyendo en ella, los valores e_{ij} .

Se analizan los valores e_{ij} , si e_{ij} es mayor o igual a cero, esto significa que no existe una ruta que disminuya el costo total y que se ha llegado a una solución óptima. Si e_{ij} es negativo, esto significará una disminución en el costo de transportación del origen i al destino j , y deberá asignarse el máximo flujo posible en esta ruta, sin olvidar su factibilidad, es decir, tomando en cuenta las restricciones de oferta y demanda. La reasignación de esta ruta implicará ajustes en el resto de casillas, por lo que se puede utilizar el método del "Cruce del arroyo" que ayudará a ajustar los flujos nuevos e identificar las rutas.

3.2.5. Método "Cruce del arroyo"

"Secuencia de celdas ocupadas que sufren ajustes en su flujo cuando se asigna flujo a un arco no utilizado en el método simplex de transporte"²⁰

También se le llama el método de la piedra que rueda, ya que el método se asemeja al uso de piedras para cruzar un arrollo, la matriz esta cubierta por

²⁰ Anderson, Sweeney, Williams, "Introducción a los modelos cuantitativos" Iberoamérica, Pag.297

agua, en excepción aquellas casillas que están ocupadas. (piedras dentro del arrollo) Para encontrar una ruta, debe dejarse una casilla vacía y regresar a ella usando sólo las piedras como pivotes o esquinas, no se permite dar vueltas en ángulo recto y no se permiten movimientos en diagonal. Los movimientos deben ser horizontales o verticales, cada esquina en ángulo recto debe estar en una celda llena y siempre existirá una y sólo una trayectoria de este tipo.

Procedimiento:

1. Si dentro de la matriz existe uno o varios valores e_{ij} negativos, deberá elegirse el más negativo y encontrar una ruta o camino de cruce de arroyo, tomando como entrada o inicio del camino la casilla en que se encuentre ubicado.
2. Se deberá asignar un signo positivo a cada celda del camino del cruce de arroyo cuyo flujo vaya a aumentar y un signo negativo a cada celda cuyo flujo vaya a disminuir.
3. El signo negativo se identifica como salida y el positivo como entrada, deberá elegirse el flujo negativo con menor valor, si hay dos iguales, (empate) se elegirá una casilla arbitrariamente.
4. Asignar a la casilla que entra la cantidad del flujo elegido en el paso anterior (flujo negativo de menor valor) y realizar ajustes a todas las casillas del recorrido de la ruta del arroyo.

5. Regresa al paso uno del método MODI y si nuevamente existe un valor de e_{ij} negativo, se repite el procedimiento, hasta obtener la solución óptima.

Ejemplificando:

Se utilizará arbitrariamente la solución inicial obtenida en el ejemplo del método de la Esquina Noroeste, el programa de distribución obtenido en éste método, servirá de punto de comparación, que ayudará a establecer si el método MODI y "Cruce del arroyo" dan una solución mejorada.

MÉTODO DE ESQUINA NOROESTE

	D ₁	D ₂	D ₃	D ₄	OFERTA	
O ₁	40	20	30	25	14	14-7=7 7-7=0
O ₂	25	35	40	35	8	8-1=7 7-7=0
O ₃	35	25	45	30	9	9-6=3 3-3=0
X	0	0	0	0	3	3-3=0
DEMANDA	7	8	13	6	34	
	7-7=0	8-7=1 1-1=0	13-7=6 6-6=0	6-3=3 3-3=0		

PROGRAMA DE DISTRIBUCION

DE ORIGEN	A DESTINO	CANTIDAD	COSTO Q.	VALOR Q.
O ₁	D ₁	7	40	280.00
O ₁	D ₂	7	20	140.00
O ₂	D ₂	1	35	35.00
O ₂	D ₃	7	40	280.00
O ₃	D ₃	6	45	270.00
O ₃	D ₄	3	30	90.00
X	D ₄	3	0	0.00
TOTAL		34		1095.00

Inicialmente, se le asigna al índice U_i un "cero" como punto de partida,

U_i	V_j		40	20	25	10	
	O_i	D_j	D_1	D_2	D_3	D_4	OFERTA
0	O_1		40	20	30	25	14
15	O_2		25	35	40	35	8
20	O_3		35	25	45	30	9
-10	X		0	0	0	0	3
	DEMANDA		7	8	13	6	34

Posteriormente se evalúa, para las celdas con valor, (llenas) la condición:

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

Para el ejemplo se tiene: $0 + X = 40$, que al despejar, da como resultado $V_j = 40$.

Obtenemos entonces el sistema de ecuaciones:

CASILLA	U_i	V_j	C_{ij}
(1, 1)	0	40	40
(1, 2)	0	20	20
(2, 2)	15	20	35
(2, 3)	15	25	40
(3, 3)	20	25	45
(3, 4)	20	10	30
(4, 4)	-10	10	0

Se colocan en la matriz los valores obtenidos. (ver matriz 1)

Para cada celda no ocupada (sombreada) debe obtenerse el valor e_{ij} :

$$e_{ij} = C_{ij} - U_i - V_j$$

En la matriz 2 tenemos: casilla (2,1) en donde: $25-15-40=-30$, valor que esta ubicado en la casilla dentro de una estrella, este valor significa que por cada unidad que se agregue a esta casilla, el costo, disminuirá en 30 unidades monetarias. Deberá entonces tomar provecho de esta casilla y asignar la mayor cantidad posible, según lo permita la oferta y demanda.

2

U_i	V_j		40	20	25	10	
	O_i	D_j	D_1	D_2	D_3	D_4	OFERTA
0	O_1		40	20	30	25	14
15	O_2		25	35	40	35	8
20	O_3		35	25	45	30	9
-10	X		0	0	0	0	3
	DEMANDA		7	8	13	6	34

Detailed description of the table: The table is a 4x7 grid. The first column contains U_i values: 0, 15, 20, -10. The second column contains O_i labels: O_1 , O_2 , O_3 , X. The third column contains D_j labels: D_1 , D_2 , D_3 , D_4 . The fourth to seventh columns contain numerical values for each cell. The eighth column contains 'OFERTA' values: 14, 8, 9, 3. The bottom row contains 'DEMANDA' values: 7, 8, 13, 6, 34. Shaded cells are at (1,3), (1,4), (1,6), (1,7), (2,3), (2,7), (3,3), (3,4), (3,6), (3,7), (4,3), (4,4), (4,5), (4,6), (4,7). Stars are in cells (1,5), (1,7), (2,3), (2,7), (3,4), (3,6). The value -30 is in cell (2,3), -20 in (3,3), and -15 in (3,4).

En esta parte, da inicio el método de cruce de arroyo, se busca una ruta que cumpla con las condiciones que establece el método, y se utiliza como casilla de entrada la casilla (2,1) elegida anteriormente, puede buscarse la ruta siguiendo el movimiento de las agujas del reloj o en el camino contrario, lo importante es ajustar un flujo en la ruta, según las condiciones del método, así:

3

O _i	D _j	D ₁	D ₂	D ₃	D ₄	OFERTA	
O ₁		40	20	30	25	14	
		7	7	5	15		
O ₂		25	35	40	35		8
		30	1	7	10		
O ₃		35	25	45	30	9	
		25	15	6	3		
X		0	0	0	0	3	
					3		
DEMANDA		7	8	13	6	34	

En la matriz 4, se ilustran con un signo negativo las salidas (flujos de salida) y con un signo positivo las entradas (flujos de entrada), posteriormente se elige dentro de las casillas con signo negativo, el de menor valor, que en este caso es el de la casilla (2,2) de 1.

4

O _i	D _j	D ₁	D ₂	D ₃	D ₄	OFERTA
O ₁	40	7 -	7 +	30	25	14
O ₂	25	35	1 -	40	35	8
O ₃	35	25	45	30	3	9
X	0	0	0	0	3	3
DEMANDA		7	8	13	6	34

Siguiendo el movimiento de las agujas del reloj, se le da entrada a la casilla (2,1) el valor de 1, así mismo, se le da salida a la casilla (1,1) el mismo valor: $7-1=6$, en la casilla (1,2) un flujo de entrada $7+1=8$ y termina la ruta en la casilla (2,2) con un flujo negativo $1-1=0$, como puede observarse en la siguiente matriz:

5

O _i	D _j	D ₁	D ₂	D ₃	D ₄	OFERTA
O ₁	40	6	8	30	25	14
O ₂	25	35	1	40	35	8
O ₃	35	25	45	30	3	9
X	0	0	0	0	3	3
DEMANDA		7	8	13	6	34

A continuación, se busca nuevamente, para las casillas con valor, la condición inicial de MODI:

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

Se obtienen entonces los valores colocados en la matriz 6. En esta misma matriz, se observa los valores e_{ij} para las casillas sin valor, y nuevamente tenemos valores negativos que indican que aún no se ha llegado a una solución óptima.

Se elige nuevamente una ruta y se colocan signos positivos y negativos para facilitar la asignación de flujos en la ruta.

U_i	V_j		40	50	55	40	
	O_i	D_j	D_1	D_2	D_3	D_4	OFERTA
0	O_1		40	20	30	25	14
-15	O_2		6 -	35	40	35	8
-10	O_3		35	25	45	30	9
-40	X		0	0	0	0	3
		DEMANDA	7	8	13	6	34

La matriz 7 representa la nueva distribución, y en la matriz 8 se evalúa su optimidad. Como se puede observar, fue necesario buscar otra ruta para redistribuir los flujos, de manera que el costo total sea disminuido.

7

O _i	D _j	D ₁	D ₂	D ₃	D ₄	OFERTA
O ₁	40	0	8	6	-15	14
O ₂	25	7	30	1	10	8
O ₃	35	5	15	6	3	9
X	0	0	0	0	3	3
DEMANDA		7	8	13	6	34

8

U _i	V _j	O _i	D _j	15	20	30	15	OFERTA
				D ₁	D ₂	D ₃	D ₄	
0		O ₁	40	25	8 -	6 +	10	14
10		O ₂	25	7	5	1	10	8
15		O ₃	35	5	10	6	3	9
-15		X	0	0	0	0	3	3
		DEMANDA		7	8	13	6	34

Finalmente, en la matriz 9 se reasignaron los flujos y en la matriz diez se obtiene la solución final, ya que no se obtuvo ninguna casilla que indicara un valor negativo en el costo marginal calculado. (e_{ij})

9

O _i	D _j	D ₁	D ₂	D ₃	D ₄	OFERTA
O ₁	40	25	20	30	25	14
O ₂	25	7	35	40	35	8
O ₃	35	5	25	45	30	9
X	0	0	0	0	0	3
DEMANDA		7	8	13	6	34

U _i	V _j		15	20	30	25	
	O _i	D _j	D ₁	D ₂	D ₃	D ₄	OFERTA
0	O ₁	40	25	20	30	25	14
10	O ₂	25	7	35	40	35	8
5	O ₃	35	5	25	45	30	9
-25	X	0	0	0	0	0	3
	DEMANDA		7	8	13	6	34

Se elabora el reporte final, que es el programa de distribución, para visualizar específicamente las rutas sugeridas y el costo total, que da como resultado **Q.855.00** , dato que representa un notable ahorro, en comparación al programa de distribución planteado en la solución inicial del método de Esquina Noroeste, que tenía como total **Q.1,095.00**, es decir que el ahorro es entonces de **Q.240.00**

PROGRAMA DE DISTRIBUCION

DE ORIGEN	A DESTINO	CANTIDAD	COSTO Q.	VALOR Q.
O ₁	D ₂	2	20	40.00
O ₁	D ₃	12	30	360.00
O ₂	D ₁	7	25	175.00
O ₂	D ₃	1	40	40.00
O ₃	D ₂	6	25	150.00
O ₃	D ₄	3	30	90.00
X	D ₄	3	0	0.00
TOTAL		34		855.00

CAPITULO IV

LA INDUSTRIA DEL ALCOHOL

El alcohol es una especie química, que también se le llama etanol, alcohol etílico, espíritu del vino, metilcarbinol, etc. Su fórmula química es: $\text{CH}_3 - \text{CH}_2\text{OH}$. Difícilmente se puede encontrar en su estado natural, y generalmente se encuentra en pequeñas cantidades en la fermentación espontánea de azúcares de algunos frutos. También se ha encontrado en la atmósfera y en aguas de manantiales, en la descomposición de materias orgánicas de origen generalmente vegetal, (humus) tejidos vegetales y animales.

4.1. Aspectos históricos de la fabricación del alcohol

Las bebidas alcohólicas han sido conocidas desde la antigüedad, e incluso se ha encontrado varios jeroglíficos egipcios alusivos a bebidas fermentadas.

“En el siglo primero de nuestra era, los alquimistas²¹ de Alejandría poseían aparatos de destilación, pero su imperfección, principalmente en lo relativo a la

²¹ El que profesa el arte quimérico, que dio nacimiento a la química.

refrigeración, los hacía completamente inútiles para la obtención de sustancias de punto de ebullición bajo".²²

La primera vez que se escucha del alcohol, es en un manuscrito del siglo XII, a partir del cual puede inferirse que la ciencia árabe tuvo conocimiento de la existencia del alcohol. En este manuscrito aparece el procedimiento para obtener alcohol: mezclar vino añejo (muy fuerte) con sal y calentar hasta la ebullición, de esto se obtiene agua que arde, y de allí el nombre de aguardiente.

"Alberto Magno (Albert Von Bollstädt 1193-1280) y Arnaldo de Villanova, hacia 1240-1313, le denominaron aqua ordens, aqua permanens y aqua vitae".²³

El alcohol se empieza a usar como medicamento en el siglo XIII. Se conoce su propiedad de ser un buen disolvente, se sabe que se encuentra impurificado por el agua y se da a conocer un método para deshidratarlo.

"A finales del siglo XVII, en 1680, Antonio Van Leeuwenhoek (1632-1723) con la ayuda de un microscopio, por él preparado, que tenía aumento de 150 diámetros, observó que la levadura se componía de unos pequeños gránulos. De esta forma estableció las bases de las futuras investigaciones de los fenómenos fermentativos".²⁴

²² Palacio H. "Fabricación de Alcohol", primera edición, Barcelona, página 2.

²³ Idem.

²⁴ Idem.

La composición química del alcohol fue determinada por Nicolás Teodoro de Saussure (1767-1845) y fue confirmada en 1845 por Berthelot quien lo obtuvo por síntesis.

El alcohol se compone por: carbono, oxígeno e hidrógeno. Su composición centesimal es 52.15% de carbono, 34.73% de oxígeno y 13.12% de hidrógeno. Su grupo funcional es el hidroxilo unido directamente a un carbono, funde a 117.3°C. Su punto de ebullición es de 78, 35°C.

El alcohol etílico es un líquido claro, incoloro, móvil; de olor aromático, sabor ardiente. Ingerido en pequeñas dosis y diluido, reanima el organismo, produce excitación, pero si la dosis se repite, ocasiona descenso de la temperatura del cuerpo y actúa como narcótico y conduce a la embriaguez, finalmente a un estado de postración. Tomado puro o diluido en grandes cantidades, es tóxico. Muchas personas lo consumen en grandes cantidades a pesar que se conoce que tiene un acción nociva, que en un alcoholismo crónico, conduce a la degeneración y atrofia de órganos, originando taras hereditarias.

La forma más usual de consumo de alcohol es el vino y licores.

El alcohol etílico o etanol, se ha producido en distintos lugares por distintas culturas y desde tiempos inmemorables. Guatemala no es la excepción. Durante muchos años, la producción fue a nivel casero. Y su finalidad era



principalmente como bebida embriagante. Sin embargo, durante el presente siglo, la industria del alcohol se desarrollo y creció. Siendo actualmente un mercado competitivo. Los usos del alcohol se diversificaron y es utilizado en la industria, como materia prima para distintos productos, como desinfectante, para exportación, y mayormente como bebida. En Guatemala, la materia prima principal para hacer alcohol etílico es la melaza.

4.2. La fabricación del alcohol

Al conjunto de etapas y operaciones que se realizan para lograr transformar la materia prima en el producto deseado se le llama proceso industrial.

Para fabricar alcohol, existen tres procedimientos:

- 4.2.1. Destilación de líquidos alcohólicos
- 4.2.2. Síntesis de sus componentes o de otros productos químicos
- 4.2.3. Fermentación y posterior destilación

A continuación se hace una descripción de los primeros procedimientos para finalmente explicar de una manera mas detallada la fabricación de alcohol por fermentación, que es el procedimiento que utiliza la melaza como materia prima, la cual es objeto de estudio en la aplicación de esta investigación.

4.2.1. Destilación de líquidos alcohólicos:

Se entiende por líquido alcohólico, a las materias que ya contienen alcohol, las cuales pueden ser: vinos, cervezas, sidras, etc.

Vinos: Se utiliza para fabricar alcohol en años de sobreproducción o en regiones donde es muy barato ya que su destilación es también económica.

Vinazas: La vinaza es la masa sólida que queda una vez se ha exprimido el vino de las uvas. Contiene residuos y sustancias orgánicas, minerales, tierra, sales, etc.

La fermentación de la vinaza se produce pasados dos o tres días y es provocada por las levaduras que se encuentran en las uvas y se multiplican y desarrollan en el poco líquido de las vinazas.

La cantidad de alcohol que se puede obtener de las vinazas varía de acuerdo a la riqueza alcohólica del vino que la produce.

Mostos de preparación de levaduras de panificación: En las primeras etapas del proceso de elaboración de levadura para panificación, también puede obtenerse alcohol por destilación. Cuando ha culminado el proceso de fermentación, se separa la levadura del mosto alcohólico²⁵. La levadura sirve como parte del proceso de elaboración de pan y el mosto se utiliza en industrias de alcohol para destilarlo.

²⁵ Mosto: Zumo de uva, cereales, papas, manzanas, etc. Antes de fermentar, empleado para la fabricación de alcohol.

Las fabricas de levadura tienden a rebajar la formación de alcohol ya que baja el rendimiento de la levadura.

4.2.2. Síntesis de sus componentes o de otros productos químicos

Desde la antigüedad se conoce la fabricación del alcohol por este método, se trataba el gas utilizado para el alumbrado con ácido sulfúrico y se obtenía sulfato de etilo, del cual por hidrólisis ²⁶ regeneraban el ácido y obtenían alcohol. El problema que presentaba este método era las grandes cantidades de ácido necesarias.

Actualmente, las nuevas técnicas utilizadas, permiten producir buenas cantidades de alcohol con pocas sustancias químicas, y es tal la eficiencia que compite con el procedimiento de fabricación por fermentación.

Las materias primas que utilizan los métodos sintéticos son: acetileno, etileno, gases de petróleo, subproductos en la síntesis de Fisher-Tropsch, carburo de calcio, ácido sulfúrico, anhídrido carbónico, etc.

²⁶ Descomposición de ciertos compuestos por la acción del agua.

4.2.3. Fermentación y posterior destilación

Fermentación proviene del latín *fervere*, que significa ebullición, burbujeo. Este burbujeo lo provocan los líquidos en ebullición; cuando el anhídrido carbónico se libera de la masa líquida de las vinazas forma burbujas y en una etapa superior se produce movimiento, que es lo que da la impresión de que esta en ebullición.

Para la fabricación de alcohol a través de fermentación, es necesario contar con materias primas que contengan hidratos de carbono o azúcares a niveles de rendimiento en alcohol satisfactorios que repercutan favorablemente en el costo.

Existen tres clases de materias primas:

- a) *Materias azucaradas*: mostos y jugos de frutas, remolacha, caña de azúcar, azúcar de remolacha y de caña, subproductos de su extracción (melazas), algarroba, etc.
- b) *Materias amiláceas*: las contienen todos los cereales que tienen almidón (maíz, cebada, malta, trigo, avena, centeno, arroz, etc.), raíces y tubérculos que contienen almidón. (papas, yuca, raíz de girasol, etc.)
- c) *Materias celulósicas*: madera y sus residuos, paja, pasta de papel que contiene celulosa de la que se obtienen azúcares.

A continuación se describe el proceso de producción de alcohol con base a melazas como materia prima.

La melaza se distingue de las demás materias primas (papas, maíz, cereales, etc.) en que no necesita ser pre-tratada para obtener los azúcares fermentables. Los carbohidratos en las melazas se encuentran listos en forma de azúcares disponibles para fermentación.

La melaza contiene las formas más simples de azúcar: la glucosa (azúcar de color blanco, cuya fórmula es $C_6H_{12}O_6$), que puede ser reacondicionada en su estructura y convertirse en fructosa²⁷ fermentable.

La glucosa no existe en la naturaleza en su estado libre, se encuentra como resultado de la unión de celulosas²⁸, que forman grandes cadenas de glucosa. La glucosa también existe en combinación con la fructosa y este elemento posee el principal contenido de azúcar de la melaza que se llama "sacarosa".

²⁷ Unidad simple de azúcar de fórmula $C_6H_{12}O_6$, similar a la glucosa pero con sabor más dulce. Se produce a través de la aplicación de enzimas a la glucosa.

²⁸ Celulosa: cuerpo sólido, blanco, forma la membrana envolvente de las células vegetales.

Existen diferentes tipos de melaza:

- a) melaza de caña
- b) melaza refinada (caña)
- c) melaza de remolacha (*Beta vulgaris*)
- d) melaza refinada (remolacha)

la producción de alcohol con melaza proviene de la caña de azúcar, que es una gramínea grande, propia de climas tropicales y subtropicales, como la costa sur de Guatemala. Su composición varía de país en país y según la variedad de la caña y su cultivo.

COMPOSICION DE LA CAÑA DE AZUCAR

Agua	74.5
Azucares	14.0
Fibra	10.0
Cuerpos Nitrogenados	0.4
Cenizas	0.5
Grasas y cera	0.2
Gomas	0.2
Acidos combinados	0.1
Acidos libres	0.1
Total	100.0

Los azúcares que componen la caña son:

Sacarosa	12.5
Dextrosa	0.9
Levulosa	0.6
Total azúcares	14

FUENTE: Palacio, Hernán, Fabricación de alcohol Cap.VI pag.142

Cuando la caña alcanza su madurez, es decir que contiene sus niveles más altos en azúcar, comienza la zafra²⁹, que por lo general ocurre en un promedio de siete u ocho meses, en Guatemala comienza en noviembre y finaliza en abril,

²⁹ Zafra: cosecha de caña de azúcar, tiempo que dura esta operación.

el régimen de lluvias es un factor determinante, ya que la madurez se obtiene cuando se aproxima el tiempo frío o seco y tiene altos rendimientos en períodos de sequía.

Al cortarse la caña, es importante que entre en proceso de producción inmediatamente, para que no pierda los niveles de azúcar estimados.

La caña es transportada a los ingenios en camiones y carretas conducidas por tractor para ser triturada y extraérsele el jugo azucarado. Posteriormente se procede a la molienda en la que se sigue extrayendo jugo azucarado mediante lavados, agotando la caña, hasta quedar reducida en bagazo.

El jugo extraído es calentado y se usan algunos antisépticos que permiten la extracción de azúcar y desinfección, después es evaporado para concentrar el azúcar y causar su cristalización.

La mezcla que contiene los cristales es centrifugada³⁰ para lograr separar los cristales del resto de la mezcla. Al residuo, que contiene altos niveles de azúcar, se le llama melaza tipo A, si es sometida nuevamente al centrifugador, el residuo es la melaza tipo B y si nuevamente se aplica el proceso, obtendremos la melaza tipo C.

³⁰ Procedimiento que separa las unidades líquidas de las sólidas, utilizando fuerza centrífuga.

La melaza es el residuo de la fabricación de azúcar y representa una de las materias primas más importantes para la fabricación de alcohol. La melaza es una sustancia líquida de color café, viscosa, gruesa y pesada.

El proceso de fabricación depende de la materia prima a utilizar. Sin embargo todas las materias primas llevan un pretratamiento, que permite mejores rendimientos, es decir, más litros de alcohol por unidad de materia prima. (gl., lt., lbs., etc.) El pretratamiento permite una fermentación más eficiente.

El grado de concentración de la melaza es medido por grados Brix, que es la medida de gravedad específica de un líquido en relación con el contenido de azúcar que posee. (también se le llama "Balling")

Después de la fermentación, ya hay alcohol en el mosto o vino, solo que en bajas proporciones. Para poder separar el alcohol, se utilizan columnas de destilación, que aprovechan la diferencia de puntos de ebullición para separar el componente más volátil en la parte alta de las columnas. También es utilizada una gran variedad de aparatos para tal fin. Sin embargo, las más eficientes son las columnas. El alcohol así obtenido llega a 96°. Si se requiere mayor grado de pureza, puede ser rectificado posteriormente concentrado a 100° GL.

Como se mencionó anteriormente, en el caso de los alcoholes potables, el proceso de destilación también depende de la calidad del producto deseado. El ron es obtenido a partir de melazas de caña. Los rones pesados, se destilan en una o dos columnas de platos perforados, estas columnas pueden tener extracciones, lo que hace más ligero el ron. Es decir que entre mas congenéricos tenga el ron, mas pesado es. Y por lo tanto, menos costo en su elaboración. Los destilados clandestinos, normalmente se destilan en equipos de una sola etapa, ollas o alambiques. Por lo que el producto obtenido es de muy baja calidad y contiene congenéricos en exceso. Los llamados congenéricos, son otros productos que se forman durante la fermentación, y debido a que sus puntos de ebullición son muy similares al del alcohol, se mezclan con el producto. Normalmente son alcoholes mas pesados, (metílico, amílico, etc.) o puede ser otro tipo de sustancias. (aldhidos o esteres) Para producir alcohol rectificado, o espíritus neutros, el alcohol obtenido en la primera columna, (de agotamiento) se pasa a través de otras dos llamadas sección de rectificación. Y en algunos casos en una tercera etapa (4ta. Columna) llamada desmetanizadora. El producto así obtenido es un alcohol más puro (menos congénicos) con un olor más fuerte a alcohol. El alcohol es un líquido altamente inflamable, por lo que durante todo el proceso de elaboración, almacenaje y transporte se deben guardar las medidas de seguridad necesarias.

4.3. Usos de la melaza

La melaza es un líquido viscoso y pesado, que es el residuo de la fabricación del azúcar. En Guatemala, es utilizado como materia prima para hacer alcohol (principalmente), también lo utilizan las fabricas que hacen levadura para panificación. Y por mucho tiempo, se ha utilizado para mezclar el alimento para ganado vacuno. En el país, se exporta una gran cantidad de melaza, principalmente, al mercado de Estados Unidos.

Para fabricas que utilizan melaza como materia prima, es importante tener una ubicación cercana a los productores de melaza, en este caso, los ingenios azucareros. Lo que permite ahorro en costo de transportación.

4.4. Comercialización del alcohol

El alcohol se comercializa en sus distintos grados de destilación y fermentación, es decir, que dentro de su proceso se pueden obtener distintos líquidos alcohólicos, elevando o disminuyendo temperaturas para obtener distintos grados de ebullición, por fermentaciones secundarias provocadas por bacterias, transformación de productos y otros por degradación de proteínas.

El alcohol sólido

Se comercializa en el estado que su nombre lo indica, especialmente, facilita su transportación y presenta mayor comodidad en su uso, debido a que su precio es superior, no compite con el alcohol líquido.

Alcohol absoluto, carburante

Utilizado para fines científicos, (laboratorios químicos) sin embargo, se comercializa con mayor frecuencia como carburante, ya que como adición a la gasolina, ésta mejora cualitativamente.

Alcohol neutro

La diversidad de aplicaciones de este alcohol provoca una producción mayor, especialmente, para la preparación de licores además de fines científicos y sanitarios.

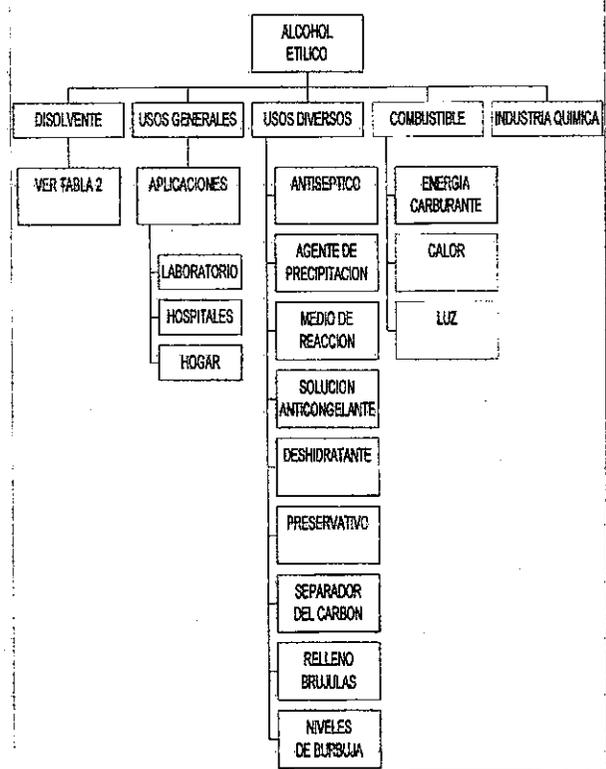
Alcohol desnaturalizado

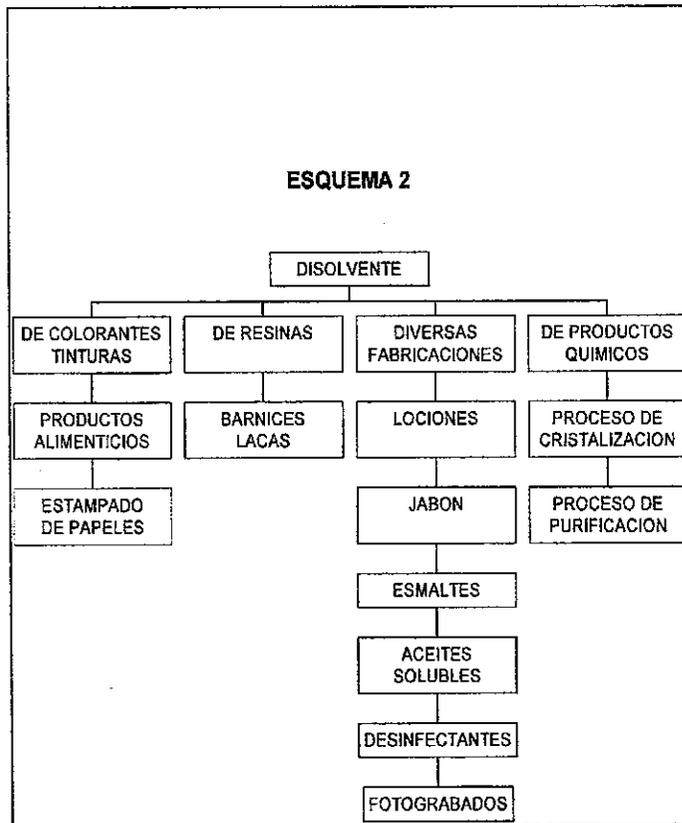
Posee una gran cantidad de usos industriales, y en comparación con el alcohol neutro, su costo es menor.

Las aplicaciones que tiene el alcohol son numerosas, en ocasiones, se constituye en la materia prima, en otras, un material utilizado en la fase de producción y puede ser también el producto terminado. En el esquema I y II encontrará las aplicaciones más frecuentes.

ESQUEMA 1

Aplicaciones del alcohol industrial





CAPITULO V
IMPLEMENTACION DE UN MODELO DE TRANSPORTE
CASO PRACTICO

5.1. Objetivos del Caso Práctico

1. El desarrollo del caso práctico tiene como objetivo general proponer un programa de distribución de materia prima, que optimice los costos de transporte en una fábrica de alcohol ubicada en la Costa Sur del País.

2. Busca analizar y determinar a través de los diferentes métodos cuantitativos del modelo de transporte, cuál es el que mejor se ajusta a la realidad y proporciona los mejores beneficios que excedan los costos incrementales.

5.2. Planteamiento del Problema

El estudio a realizarse pretende determinar, si:

¿El programa de transporte de materia prima actual, podrá ser mejorado?

¿Se podrá reducir los costos actuales de transporte de melaza, en la fábrica de alcohol en estudio?

¿Cuál de los métodos de transporte dará como resultado una solución óptima?

¿La elección de un método de transporte, dentro del campo de la programación lineal, ayudará a satisfacer la demanda de materia prima en la fábrica de alcohol en estudio, al mínimo costo?

Actualmente, los ingenios que abastecen la fábrica son: Santa Ana, Madre Tierra, La Unión, Tierra Buena, Magdalena, Tululá, El Baúl; a un costo total de Q.247,134.00 miles. Anuales. ¿Será posible seguir utilizando a éstos ingenios como abastecedores?

5.2.1. Hipótesis

El desarrollo del caso práctico pretende demostrar que la elección de un método de transporte, dentro del campo de la programación lineal, ayudará a satisfacer la demanda de transporte de materia prima en una fábrica de alcohol, al mínimo costo.

5.2.2. Situación actual

Se plantea un análisis de la demanda anual de melaza que es la principal materia prima de la fábrica de alcohol, ubicada en la Costa Sur de Guatemala. Esta fábrica de alcohol almacena la materia prima en dos ubicaciones: a las que se denominarán almacén UNO y DOS.

La oferta de materia prima proviene de los ingenios azucareros: Santa Ana, El Baúl, Tierra Buena, Magdalena, Tuluá, La Unión, Los Tarros, Madre Tierra, El Pilar, Guadalupe, Pantaleón, Palo Gordo. Los datos utilizados de ofertas, fueron tomados de fuentes históricas, proporcionadas por la fábrica.

La unidad de medida de capacidad utilizada es el galón de melaza. El medio de transporte es camión cisterna con capacidad de 5000 galones y rendimiento promedio por galón de diesel de 8 km. El precio actual promedio del diesel es de Q.7.75 por galón.

{



INFORMACION GENERAL OFERTAS Y DEMANDAS FABRICA DE ALCOHOL

DATOS:

OFERTAS

NUMERO	INGENIO	GALONAJE PROMEDIO OFERTA EN MILES DE GL.	Km. IDA Y VUELTA	
			UNO	DOS
1	Santa Ana	8000	54	150
2	El Baúl	2500	16	110
3	Tierra Buena	4000	90	85
4	Magdalena	5000	61	190
5	Tululá	2000	158	68
6	La Unión	4000	28	100
7	Los Tarros	1000	20	110
8	Madre Tierra	1000	12	90
9	El Pilar	4000	158	80
10	Guadalupe	1500	118	190
11	Pantaleón	6000	8	100
12	Palo Gordo	3500	102	40

DEMANDAS

ALMACEN	CANTIDAD DEMANDADA MILES GL.
UNO	23200
DOS	800

COSTOS:

Un camión cisterna transporta 5,000 galones de melaza y hace 8 kilómetros por galón de diesel que cuesta Q.7.75. entonces:

Si de Ingenio 1 a almacén UNO hay 54 km. El costo por kilómetro recorrido se obtiene dividiendo los 54 km. entre 8 que es igual a 6.75 gls. por el costo de diesel: $6.75 \times 7.75 =$ Q.52.31 por transportar 5000 galones de melaza.
 $Q.52.31/5 = Q.10.46$ por transportar 1000 galones.

COSTOS DE TRANSPORTE POR CADA 1000 GL. DE MELAZA

INGENIO	ALMACEN	KMS.	GALONES RQUERIDOS	COSTO DIESEL QUETZALES	COSTO 5000GL. QUETZALES	COSTO 1000GL. QUETZALES
1	UNO	54	6,75	7,75	52,3125	10,46
2	UNO	16	2	7,75	15,5	3,10
3	UNO	90	11,25	7,75	87,1875	17,44
4	UNO	61	7,625	7,75	59,09375	11,82
5	UNO	158	19,75	7,75	153,0625	30,61
6	UNO	28	3,5	7,75	27,125	5,43
7	UNO	20	2,5	7,75	19,375	3,88
8	UNO	12	1,5	7,75	11,625	2,33
9	UNO	158	19,75	7,75	153,0625	30,61
10	UNO	118	14,75	7,75	114,3125	22,86
11	UNO	8	1	7,75	7,75	1,55
12	UNO	102	12,75	7,75	98,8125	19,76
1	DOS	150	18,75	7,75	145,3125	29,06
2	DOS	110	13,75	7,75	106,5625	21,31
3	DOS	85	10,625	7,75	82,34375	16,47
4	DOS	190	23,75	7,75	184,0625	36,81
5	DOS	68	8,5	7,75	65,875	13,18
6	DOS	100	12,5	7,75	96,875	19,38
7	DOS	110	13,75	7,75	106,5625	21,31
8	DOS	90	11,25	7,75	87,1875	17,44
9	DOS	80	10	7,75	77,5	15,50
10	DOS	190	23,75	7,75	184,0625	36,81
11	DOS	100	12,5	7,75	96,875	19,38
12	DOS	40	5	7,75	38,75	7,75

**PROGRAMA DE DISTRIBUCION
ACTUAL**

DE ORIGEN	A DESTINO	MILES DE GALONES	COSTO Q.	VALOR Q. MILES
SANTA ANA	UNO	8000	10.46	83680.00
MADRE TIERRA	UNO	1000	2.33	2330.00
LA UNION	UNO	4000	5.43	21720.00
TIERRA BUENA	UNO	4000	17.44	69760.00
MAGDALENA	UNO	5000	11.82	59100.00
TULULA	DOS	800	13.18	10544.00
EL BAUL	UNO	1200	3.1	3720.00
TOTAL		24000		Q 247,134.00

Planteamiento del problema:

Objetivo: Minimizar costos

Unidad de análisis: Melaza X_{ij}

Origen: Ingenios Azucareros O_i

Destino: Almacenes D_j

Costo: De transportar 1000 galones de melaza. C_{ij}

En donde:

X_{ij} representa la cantidad de galones de melaza a transportar del origen i al destino j

C_{ij} representa el costo de transportar 1000 galones de melaza del origen i al destino j

FUNCION OBJETIVO

Este problema tiene como finalidad minimizar la siguiente función objetivo:

F.O. MINIMIZAR

$$\begin{aligned}
 Z = & 10.46 X_{11} + 29.06 X_{12} + 3.10 X_{21} + 21.31 X_{22} + 17.44 X_{31} + 16.47 X_{32} + \\
 & 11.8 X_{41} + 36.81 X_{42} + 30.6 X_{51} + 13.18 X_{52} + 5.43 X_{61} + 19.38 X_{62} + 3.88 \\
 & X_{71} + 21.31 X_{72} + 2.33 X_{81} + 17.44 X_{82} + 30.6 X_{91} + 15.5 X_{92} + 22.8 X_{101} + \\
 & 36.81 X_{102} + 1.55 X_{111} + 19.38 X_{112} + 19.76 X_{121} + 7.75 X_{122}
 \end{aligned}$$

Como existe un costo de transportar 1000gl. De melaza de cada origen hacia cada destino, a través de esta función, se elegirán valores de las variables de decisión X_{ij} que proporcionen el menor costo total posible de Z .

SUJETO A:

Restricciones de la capacidad limitada de oferta y demanda.

$$X_{11} + X_{12} = 8000$$

$$X_{21} + X_{22} = 2500$$

$$X_{31} + X_{32} = 4000$$

$$X_{41} + X_{42} = 5000$$

$$X_{51} + X_{52} = 2000$$

$$X_{61} + X_{62} = 4000$$

$$X_{71} + X_{72} = 1000$$

$$X_{81} + X_{82} = 1000$$

$$X_{91} + X_{92} = 4000$$

$$X_{101} + X_{102} = 1500$$

$$X_{111} + X_{112} = 6000$$

$$X_{121} + X_{122} = 3500$$

En donde, la sumatoria de los productos enviados del origen i al destino j debe ser igual a la capacidad de oferta.

$$X_{11} + X_{21} + X_{31} + X_{41} + X_{51} + X_{61} + X_{71} + X_{81} + X_{91} + X_{101} + X_{111} + X_{121} = 3200$$

$$X_{12} + X_{22} + X_{32} + X_{42} + X_{52} + X_{62} + X_{72} + X_{82} + X_{92} + X_{102} + X_{112} + X_{122} = 800$$

En donde, la sumatoria de los productos enviados del origen i al destino j debe ser igual a la capacidad de demanda.

Como la oferta es mayor a la demanda entonces:

$$O > D$$

$$\text{OFERTA} = 42,500 \text{ MILES DE GL.} > \text{DEMANDA} = 24,000 \text{ MILES DE GL.}$$

Es necesario agregar una columna falsa (variable de holgura) S_{ij}

$$X_{11} + X_{12} + S_{ij} = X_{11} + X_{21} + X_{31} + X_{41} + X_{51} + X_{61} + X_{71} + X_{81} + X_{91} + X_{101} + X_{111} + X_{121}$$

Las nuevas variables (columna de holgura), absorberán el exceso de oferta. Los costos de la columna serán iguales a cero.

MATRIZ INICIAL:

Tomando como base esta expresión algebraica, se construye la matriz inicial.

1. En cada fila se colocan los ingenios, (origen) que se encuentran representados por números correlativos del uno al doce, colocando en la última columna sus respectivas ofertas.

2. En cada columna se colocan los destinos, es decir los almacenes y sus respectivas demandas. Los almacenes están representados como almacén uno y dos.
3. Se coloca un recuadro en cada intersección de fila y columna, en el que se escribe el costo de transportación de 1000 galones de melaza correspondiente a la posición de fila y columna.
4. La variable de holgura se representa por la columna \$ y los costos que se adjudican en esta columna son igual a cero; ésta columna falsa permite igualar la cantidad ofertada con la demandada para encontrar una solución.

MATRIZ INICIAL

	UNO	DOS	S	OFERTA
1	10,46	29,06	0	8000
2	3,10	21,31	0	2500
3	17,44	16,47	0	4000
4	11,8	36,81	0	5000
5	30,6	13,18	0	2000
6	5,43	19,38	0	4000
7	3,88	21,31	0	1000
8	2,33	17,44	0	1000
9	30,6	15,50	0	4000
10	22,8	36,81	0	1500
11	1,55	19,38	0	6000
12	19,76	7,75	0	3500
DEMANDA	23200	800	18500	42500

5.3. Desarrollo de Método Esquina Nor-Oeste

Procedimiento

Este método se inicia en la casilla X_{11} , en la cual se hace la máxima asignación, tal que agote la oferta o la demanda, luego se repite el procedimiento, atendiendo el orden de arriba hacia abajo y de izquierda a derecha, elaborando finalmente el programa de distribución.

Aplicación

Se inicia, como su nombre lo indica en la esquina nor-oeste, primer fila y primer columna, asignando la mayor cantidad posible, que en el presente caso, está determinado por la oferta. Se asignan 8000 y se rebajan del total de oferta: $8000-8000=0$ y del total de demanda: $23200-8000=15200$. Se utiliza un sombreado en las casillas cuya fila o columna se encuentre con una oferta o demanda igual a cero. Posteriormente, se vuelve a seleccionar la casilla que tenga la posición nor-oeste y se le asigna la mayor cantidad posible, repitiendo el procedimiento hasta que se agote la demanda.

Al elaborar el programa de distribución, se toma en cuenta únicamente aquellas casillas que tengan un valor positivo, se descartan las casillas sombreadas. Se

multiplica la cantidad por el costo correspondiente para conocer el costo de transportar la melaza de cada origen a cada destino establecido.

Según el método de la Esquina Nor-Oeste, la materia prima debe transportarse de los Ingenios: Santa Ana, El Baúl, Tierra Buena, Magdalena, Tululá y La Unión, a un costo total de transportación de Q.306,245.00 miles.

MÉTODO ESQUINA NOROESTE

	UNO	DOS	X	OFERTA
1	10,46 8000	29,06	0	8000 8000-8000=0
2	3,10 2500	21,31	0	2500 2500-2500=0
3	17,44 4000	16,47	0	4000 4000-4000=0
4	11,82 5000	36,81	0	5000 5000-5000=0
5	30,61 2000	13,18	0	2000 2000-2000=0
6	5,43 1700	19,38	800 1500	4000 4000-1700=2300-800=1500-1500=0
7	3,88 2,33	21,31 17,44	0	1000 1000-1000=0
8	30,61	15,50	0 1000	1000 1000-1000=0
9	22,86	36,81	0 4000	4000 4000-4000=0
10	1,55	19,38	0 1500	1500 1500-1500=0
11	19,76	7,75	0 6000	6000 6000-6000=0
12			3500	3500 3500-3500=0
DEMANDA	23200	800	18500	42500
	23200-8000=	800-800=0	18500-1500=	
	15200-2500=		17000-1000=	
	12700-4000=		16000-1000=	
	8700-5000=		15000-4000=	
	3700-2000=		11000-1500=	
	1700-1700=0		9500-6000=	
			3500-3500=0	

**PROGRAMA DE DISTRIBUCION
MÉTODO ESQUINA NOROESTE**

DE ORIGEN	A DESTINO	MILES DE GALONES	COSTO Q.	VALOR Q. MILES
SANTA ANA	UNO	8000	10.46	83680.00
EL BAUL	UNO	2500	3.1	7750.00
TIERRA BUENA	UNO	4000	17.44	69760.00
MAGDALENA	UNO	5000	11.82	59100.00
TULULA	UNO	2000	30.61	61220.00
LA UNION	UNO	1700	5.43	9231.00
LA UNION	DOS	800	19.38	15504.00
TOTAL		24000		Q 306,245.00

5.4. Desarrollo de Método del Mínimo Costo

Procedimiento

Este método consiste en localizar el costo más pequeño, para efectuar allí la mayor asignación posible, se repite el procedimiento, hasta agotar la oferta y satisfacer la demanda. Finalmente se construye el programa de distribución.

Aplicación

Tomando como base la matriz construida, se inicia buscando dentro de ella, la casilla que tenga el menor costo: fila 8 columna 1, que corresponde al costo de transportar de Ingenio Pantaleón hacia almacén Uno Q.1.55 miles. Se le asigna la mayor cantidad posible, que en este caso está determinada por la oferta de 6000, rebajándosele del total disponible tanto de oferta como de demanda: oferta = $6,000 - 6,000 = 0$ y demanda = $23,200 - 6,000 = 17,200$. Se utiliza el sombreado para visualizar fácilmente aquellas casillas que han sido agotadas y agregar una segunda asignación. Se repite el procedimiento sucesivamente, hasta agotar el total demandado.

Finalmente se construye el programa de distribución, que indica la cantidad de galones que debe transportarse de cada ingenio a cada almacén, el costo que

representa y el costo total de esta distribución. El resultado que se obtuvo propone transportar esta materia prima de los ingenios: Santa Ana, El Baúl, La Unión, Los Tarros, Madre Tierra, Pantaleón y Palo Gordo, a un costo total de Q.148,692.00 miles.



MÉTODO DEL MINIMO COSTO

	UNO	DOS	X	OFERTA	
	10,46	29,06	0		
1	8000			8000	8000-8000=0
	3,70	21,31	0		
2	2500			2500	2500-2500=0
	17,44	16,47	0		
3			4000	4000	4000-4000=0
	11,82	36,81	0		
4			5000	5000	5000-5000=0
	30,61	13,18	0		
5			2000	2000	2000-2000=0
	5,43	19,38	0		
6	4000			4000	4000-4000=0
	3,88	21,31	0		
7	1000			1000	1000-1000=0
	2,33	17,44	0		
8	1000			1000	1000-1000=0
	30,61	15,50	0		
9			4000	4000	4000-4000=0
	22,86	36,81	0		
10			1500	1500	1500-1500=0
	1,55	19,38	0		
11	6000			6000	6000-6000=0
	19,76	7,75	0		
12	700	800	2000	3500	3500-800=2700-700=2000-2000=0
DEMANDA	23200	800	18500	42500	
	23200-6000=	800-800=0	18500-4000=		
	17200-1000=		14500-5000=		
	16200-2500=		9500-2000=		
	13700-1000=		7500-4000=		
	12700-4000=		3500-1500=		
	8700-8000=		2000-2000=0		
	700-700=0				

**PROGRAMA DE DISTRIBUCION
MÉTODO MINIMO COSTO**

DE ORIGEN	A DESTINO	MILES DE GALONES	COSTO Q.	VALOR Q. MILES
SANTA ANA	UNO	8000	10.46	83680.00
EL BAUL	UNO	2500	3.1	7750.00
LA UNION	UNO	4000	5.43	21720.00
LOS TARROS	UNO	1000	3.88	3880.00
MADRE TIERRA	UNO	1000	2.33	2330.00
PANTALEON	UNO	6000	1.55	9300.00
PALO GORDO	UNO	700	19.76	13832.00
PALO GORDO	DOS	800	7.75	6200.00
TOTAL		24000		Q 148,692.00

5.5. Desarrollo del Método de Aproximación de Vogel

Procedimiento

Consiste en obtener multas en filas y columnas, seleccionando la multa mayor y efectuar allí la máxima asignación. Una multa es la diferencia entre los dos costos más pequeños de cada fila y cada columna.

Aplicación

Se inicia calculando un costo de penalización (C.P.) para cada fila y cada columna, que se obtiene restando el costo menor del que le sigue en valor: en la primer fila: $10.46-29.06=18.6$, e la segunda fila: $3.10-21.31=18.21$, en la primer columna: $1.55-2.33=0.78$, en la segunda columna: $7.75-13.18=5.43$ y así sucesivamente. Se evalúa cada fila y cada columna y se identifica el mayor costo penal, (resolviendo arbitrariamente los empates) asignándole la máxima cantidad posible en esa ruta en la casilla que tenga el costo mas bajo: el mayor costo penal es 24.99 y la casilla de menor costo es la ruta de Ingenio Magdalena hacia almacén Uno, con un costo de Q.11.82 miles. Se recalculan las ofertas y demandas, sustrayéndole las cantidades utilizadas y se vuelven a determinar los costos penales, repitiendo el procedimiento, hasta que las demandas sean

satisfechas. El sombreado ayuda a descartar aquellas filas o columnas que estén agotadas.

Como se puede observar en la matriz, se cubren las demandas de los almacenes Uno y Dos, sin embargo, la tercer columna, que representa la variable de holgura, posee aún un total de demanda de 18500 galones, que corresponden exactamente a la sumatoria de la cantidad de oferta disponible. Esta cantidad no ha sido asignada, ya que representa el exceso de oferta sobre los requerimientos de la fábrica y no interesa su destino.

Finalmente, se construye el programa de distribución, que sugiere los siguientes orígenes: Ingenio Santa Ana, El Baúl, Magdalena, Tululá, Los Tarros, Madre Tierra y Pantaleón, con un costo total de Q.175,885.00 miles.

**PROGRAMA DE DISTRIBUCION
MÉTODO DE APROXIMACION VOGEL**

DE ORIGEN	A DESTINO	MILES DE GALONES	COSTO Q.	VALOR Q. MILES
SANTA ANA	UNO	8000	10.46	83680.00
EL BAUL	UNO	2500	3.1	7750.00
MAGDALENA	UNO	5000	11.82	59100.00
TULULA	DOS	800	13.18	10544.00
LOS TARROS	UNO	1000	3.88	3880.00
ADRE TIERRA	UNO	700	2.33	1631.00
PANTALEON	UNO	6000	1.55	9300.00
TOTAL		24000		Q 175,885.00

5.6 Revisión del Método del Mínimo Costo

Dado que el Método del Mínimo costo es el que menor Costo refleja, se evalúan sus resultados a través del método MODI y "cruce del arroyo":

Se agrega una fila y una columna más al principio de la matriz, a la fila se le asignará valores U_i y a la columna se le asignará valores V_j .

Se selecciona la primer fila y se le asigna un Cero (en forma arbitraria) y para cada casilla con un valor positivo, (cada casilla con una cantidad asignada) los números de la fila mas los de la columna deben igualar al costo unitario de esta casilla: el costo del la primer casilla (primer fila y primer columna) es de Q.10.46, como se asignó un valor Cero a la primer fila, el valor a asignarle a la columna debe ser: $10.46-0=10.46$. Continuando con el procedimiento, la fila dos que tiene un valor positivo de 2500: como ya tiene un valor en la columna= 10.46 tenemos: $3.10-10.46= -7.36$. El procedimiento se sigue hasta asignar un numero para cada fila y columna.

Se verifica la condición:

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

CASILLA	U_i	V_j	C_{ij}
(1, 1)	0	10,46	10,46
(2, 1)	-7,36	10,46	3,1
(6, 1)	-5,03	10,46	5,43
(7, 1)	-6,58	10,46	3,88
(8, 1)	-8,13	10,46	2,33
(11, 1)	-8,91	10,46	1,55
(12, 1)	9,3	10,46	19,76
(12, 2)	9,3	-1,55	7,75

Se colocan en la matriz los valores obtenidos. (ver matriz 1)

Para cada celda no ocupada (sombreada) debe obtenerse el valor e_{ij} :

$$e_{ij} = C_{ij} - U_i - V_j$$

En la matriz: casilla (1,2): $29.06 - 0 - 1.55 = 30.61$, valor que esta ubicado en la casilla dentro de una estrella, este valor significa que por cada unidad que se agregue a esta casilla, el costo de transporte, aumentará en 30.61 unidades monetarias.

**REVISION AL MÉTODO
DEL MINIMO COSTO**

1

U _i	V _j		10.46	-1.55	-9.3	
	O _i	D _j	UNO	DOS	X	OFERTA
			10,46	29,06	0	
0	1		8000			8000
			3,10	21,31	0	
-7.36	2		2500			2500
			17,44	16,47	0	
9.3	3				4000	4000
			11,82	36,81	0	
9.3	4				5000	5000
			30,61	13,18	0	
9.3	5				2000	2000
			5,43	19,38	0	
-5.03	6		4000			4000
			3,88	21,31	0	
-6.58	7		1000			1000
			2,33	17,44	0	
-8.13	8		1000			1000
			30,61	15,50	0	
9.3	9				4000	4000
			22,86	36,81	0	
9.3	10				1500	1500
			1,55	19,38	0	
-8.91	11		6000			6000
			19,76	7,75	0	
9.3	12		700	800	2000	3500
		DEMANDA	23200	800	18500	42500

Después de haber obtenido todos los valores e_{ij} se observa si existe algún negativo, en la matriz se encontraron dos: -2.32 y -7.94 , estos valores representan la reducción del costo por cada unidad que se asigne en estas casillas, es decir que si asignamos 1 unidad en la casilla $(4,1)$ el costo se reducirá en -7.94 . Se tratará entonces, de buscar la ruta que ayude a asignar la mayor cantidad posible a estas casillas, sin olvidar las restricciones de oferta y demanda y las reglas que establece el método del cruce del arroyo.

En la matriz número dos, se encuentra una ruta, que permitirá reasignar valor a la casilla que representa una reducción en el costo.

REVISION AL MÉTODO
DEL MINIMO COSTO
2

U _i	V _j		10.46	-1.55	-9.3	
	O _i	D _j	UNO	DOS	X	OFERTA
			10,46	29,06	0	
0	1		8000			8000
			3,10	21,31	0	
-7.36	2		2500			2500
			17,44	16,47	0	
9.3	3				4000	4000
			11,82	36,81	0	
9.3	4				5000	5000
			30,61	13,18	0	
9.3	5				2000	2000
			5,43	19,38	0	
-5.03	6		4000			4000
			3,88	21,31	0	
-6.58	7		1000			1000
			2,33	17,44	0	
-8.13	8		1000			1000
			30,61	15,50	0	
9.3	9				4000	4000
			22,86	36,81	0	
9.3	10				1500	1500
			1,55	19,38	0	
-8.91	11		6000			6000
			19,76	7,75	0	
9.3	12				2000	3500
		DEMANDA	23200	800	18500	42500

Se elige el menor valor de la ruta, 700 y es esta cantidad la que se asigna a la casilla (4,1), se rebaja esta misma cantidad en la ruta, de manera que no sean afectadas las restricciones de oferta y demanda.

Para estar seguros que la matriz obtenida es la óptima, se evalúa nuevamente con el método MODI, y se obtiene todavía una casilla que representa una reducción en el costo (3,1); sin embargo, como se puede observar en la matriz cuatro, la única ruta posible de reasignación, llevaría nuevamente a usar la casilla (4,1) recién asignada y que representaba una mayor reducción en el costo que la casilla (3,1) por lo tanto, ya no es posible hacer otra reasignación que reduzca el costo actual.

REVISION AL MÉTODO
DEL MINIMO COSTO

3

U _i \ V _j		10.46	-1.55	-9.3	
	O _i \ D _j	UNO	DOS	X	OFERTA
0	1	10,46 8000	29,06 24	0	8000
-7.36	2	3,10 2500	21,31 32	0	2500
9.3	3	17,44 27	16,47 31	0	4000
9.3	4	11,82 700	36,81 28	0	5000
9.3	5	30,61 26	13,18 34	0	2000
-5.03	6	5,43 4000	19,38 33	0	4000
-6.58	7	3,88 1000	21,31 32	0	1000
-8.13	8	2,33 1000	17,44 31	0	1000
9.3	9	30,61 26	15,50 35	0	4000
9.3	10	22,86 31	36,81 28	0	1500
-8.91	11	1,55 6000	19,38 33	0	6000
9.3	12	19,76 25	7,75 36	0	3500
	DEMANDA	23200	800	18500	42500

REVISION AL MÉTODO
DEL MINIMO COSTO

4

Ui \ Vj		10.46	-1.55	-9.3	
	Oi \ Dj	UNO	DOS	X	OFERTA
0	1	10,46 8000	29,06 *	0	8000
-7.36	2	3,10 2500	21,31 *	0	2500
9.3	3	17,44 *	16,47 *	0 →	4000
9.3	4	11,82 ↑ 700	36,81 *	0 ↓ 4300	5000
9.3	5	30,61 *	13,18 *	0	2000
-5.03	6	5,43 4000	19,38 *	0	4000
-6.58	7	3,88 1000	21,31 *	0	1000
-8.13	8	2,33 1000	17,44 *	0	1000
9.3	9	30,61 *	15,50 *	0	4000
9.3	10	22,86 *	36,81 *	0	1500
-8.91	11	1,55 6000	19,38 *	0	6000
9.3	12	19,76 *	7,75 800	0 2700	3500
DEMANDA		23200	800	18500	42500



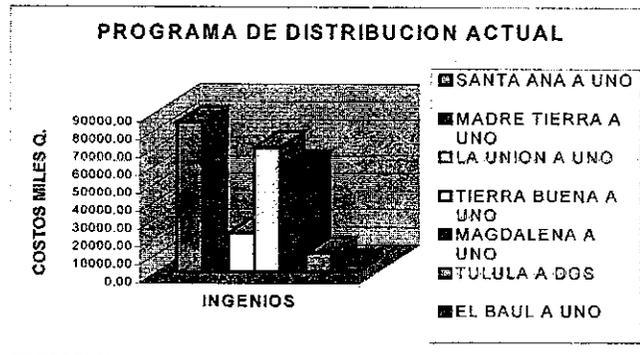
Finalmente, se obtiene el programa de distribución óptimo con un costo total de Q.143,134.00 miles de quetzales.

**PROGRAMA DE DISTRIBUCION
MÉTODO MINIMO COSTO
SOLUCION OPTIMA
MÉTODO MODI Y CRUCE DEL ARROYO**

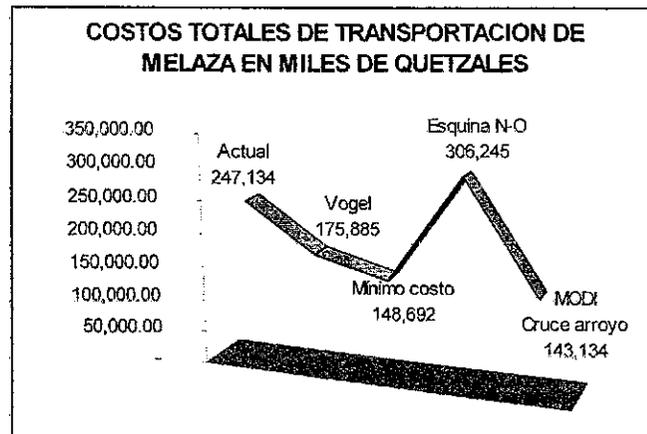
DE ORIGEN	A DESTINO	MILES DE GALONES	COSTO Q.	VALOR Q. MILES
SANTA ANA	UNO	8000	10,46	83680,00
EL BAHÚL	UNO	2500	3,1	7750,00
MAGDALENA	UNO	700	11,82	8274,00
LA UNION	UNO	4000	5,43	21720,00
LOS TARROS	UNO	1000	3,88	3880,00
MADRE TIERRA	UNO	1000	2,33	2330,00
PANTALEÓN	UNO	6000	1,55	9300,00
PALO GORDO	DOS	800	7,75	6200,00
TOTAL		24000		Q 143.134,00

satisfacer la demanda de materia prima en una fábrica de alcohol, al mínimo costo." queda comprobada.

PROGRAMA DE TRANSPORTE DE MATERIA PRIMA ACTUAL

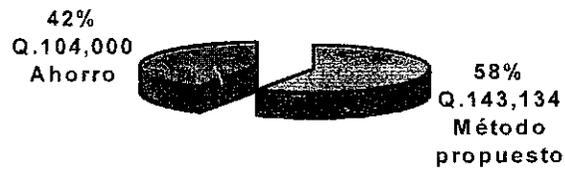


RESULTADOS DE LA APLICACION DE LOS METODOS DE TRANSPORTE



La fábrica podría tener un ahorro de Q.104,000.00 miles, (42%) del costo actual, si utiliza el programa de distribución propuesto y minimizaría el costo de transporte anual de materia Prima en Q.143,134.00 miles.

**AHORRO DEL PROGRAMA DE
DISTRIBUCION PROPUESTO EN MILES DE
QUETZALES: MODI/CRUCE DEL ARROYO
APLICADO AL METODO DEL MINIMO
COSTO**



CONCLUSIONES

1. En Guatemala, la fabricación del alcohol utiliza como principal materia prima la melaza y para lograr ahorros en los costos de transporte, se buscan ubicaciones cercanas a los productores de melaza, en este caso, los ingenios azucareros de la Costa Sur del país.
2. Actualmente, en la fábrica de alcohol objeto a estudio, no existe ningún tipo de planeación respecto al transporte de materia prima.
3. En el campo de la Programación Lineal, los métodos de transporte Esquina-Noroeste, Mínimo Costo y Aproximación de Vogel, aplicados al problema de transporte de materia prima en la Fábrica de alcohol en estudio reducen el costo de transporte actual, sin embargo, los métodos MODI y "Cruce del Arroyo" proporcionan un mejor beneficio acorde a la situación actual de la empresa.
4. La utilización de los métodos MODI y "Cruce del Arroyo" en el Método del Mínimo Costo aplicado al problema de transporte de materia prima en la fábrica de alcohol en estudio, disminuye el costo de transporte de melaza, permitiendo un ahorro del 42% del costo actual y satisfaciendo las demandas al mínimo costo.

RECOMENDACIONES

De acuerdo con las conclusiones anteriores, se hacen a los administradores de la Fábrica de alcohol, las siguientes recomendaciones:

1. Adoptar el programa de distribución de transporte de materia prima obtenido en el método MODI y "Cruce del Arroyo", que minimiza el costo anual de transporte en Q.143,134.00 miles
2. Evaluar el programa de distribución propuesto y efectuar una prueba para confirmar finalmente la conveniencia de su uso.
3. Establecer un proceso de retroalimentación antes y después de la implementación del modelo. Antes, con la finalidad de hacerlo más flexible a los cambios necesarios para afinarlo y después para actualizarlo y evitar que se vuelva obsoleto.
4. Se recomienda negociar con los Ingenios que presentan los costos de transportación más bajos, ampliaciones en la cantidad ofertada.

BIBLIOGRAFIA

Stoner, J., Wankel, Ch.
ADMINISTRACION
Prentice-Hall Hispanoamericana, S.A.
México, D.F. 1987

Stanley I. Grossman
APLICACIONES DE ALGEBRA LINEAL
Grupo editorial Iberoamérica
México, D.F. 1988

Schroeder, R
ADMINISTRACION DE OPERACIONES TOMA DE DECISIONES EN LA
FUNCIÓN DE OPERACIONES
McGraw Hill Interamericana de México, S.A. de C.V.
México, D.F. 1992

Haussler, P.
MATEMATICA PARA ADMINISTRACION Y ECONOMIA
Grupo editorial Iberoamérica
México, D.F. 1992

Hopeman, R
ADMINISTRACION DE PRODUCCIÓN Y OPERACIONES
Cía. Editorial Continental, S.A. de C.V.
México, D.F. 1987

Dettman, J.
INTRODUCCION AL ALGEBRA LINEAL Y A LAS ECUACIONES
DIFERENCIALES
McGraw Hill Interamericana de México, S.A. de C.V.
México, D.F. 1975

Anderson, D., Sweeney D., Williams T.
INTRODUCCION A LOS MODELOS CUANTITATIVOS PARA
ADMINISTRACION
Grupo editorial Iberoamérica, S.A. de C.V.
México, D.F. 1993

De-León R.
LEGISLACION FISCAL
Compilación, Guatemala, 1991

Gallagher, Ch., Watson H. J.
METODOS CUANTITATIVOS PARA LA TOMA DE DECISIONES EN
ADMINISTRACION
McGraw Hill Interamericana de México, S.A. de C.V.
México, D.F. 1995

Chiang, A.
METODOS FUNDAMENTALES DE ECONOMIA MATEMATICA
McGraw Hill Interamericana de México, S.A. de C.V.
México, D.F. 1987

Lyons T., Kelsail D, Murtagh J.
THE ALCOHOL TEXTBOOK
Nottingham, University Press
United Kingdom, 1995.

BANCA CENTRAL
No.32 abril/junio 1997 Año VIII Guatemala C.A.
Editado: Banco de Guatemala.

APUNTES DE TERORIA ADMINISTRATIVA I
Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ciencias Económicas
1992