

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE CIENCIAS ECONÓMICAS**



**“APLICACIÓN DEL MODELO DE TRANSPORTE PARA
DETERMINAR EL PROGRAMA ÓPTIMO DE DISTRIBUCIÓN
DE HIERRO Y PERFILES EN UNA EMPRESA DISTRIBUIDORA
CON SEDE CENTRAL EN ZONA 12, CIUDAD CAPITAL”**

ALMA YESSENIA CRUZ LÓPEZ

ADMINISTRADORA DE EMPRESAS

GUATEMALA, ABRIL DE 2018

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE CIENCIAS ECONÓMICAS
ESCUELA DE ADMINISTRACIÓN DE EMPRESAS



**“APLICACIÓN DEL MODELO DE TRANSPORTE PARA
DETERMINAR EL PROGRAMA ÓPTIMO DE DISTRIBUCIÓN
DE HIERRO Y PERFILES EN UNA EMPRESA DISTRIBUIDORA
CON SEDE CENTRAL EN ZONA 12, CIUDAD CAPITAL”**

TESIS

PRESENTADA A LA JUNTA DIRECTIVA
DE LA FACULTAD DE CIENCIAS ECONÓMICAS

POR

ALMA YESSENIA CRUZ LÓPEZ

PREVIO A CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

ADMINISTRADORA DE EMPRESAS

EN EL GRADO ACADÉMICO DE

LICENCIADA

GUATEMALA, FEBRERO DE 2018

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE CIENCIAS ECONÓMICAS
MIEMBROS DE LA JUNTA DIRECTIVA

DECANO:	Lic. Luis Antonio Suárez Roldán
SECRETARIO:	Lic. Carlos Roberto Cabrera Morales
VOCAL I:	Lic. Carlos Alberto Hernández Gálvez
VOCAL II:	MSc. Byron Giovani Mejía Victorio
VOCAL III:	Vacante
VOCAL IV:	P.C. Marlon Geovani Aquino Abdalla
VOCAL V:	P.C. Carlos Roberto Turcios Pérez

PROFESIONALES QUE PRACTICARON EL EXAMEN DE ÁREAS
PRÁCTICAS BÁSICAS

Matemáticas – Estadística	Lic. Axel Osberto Marroquin Reyes
Administración – Finanzas	Licda. Elisa Rojas Barahona
Mercadotecnia – Operaciones	Licda. Elvia Zulena Escobedo Chinchilla

JURADO QUE PRACTICÓ EL EXAMEN PRIVADO DE TESIS

PRESIDENTE:	Lic. Oscar Haroldo Quiñónez Porras
SECRETARIA:	Licda. Thelma Marina Soberanis de Monterroso
EXAMINADOR:	Lic. Axel Osberto Marroquín Reyes

Guatemala, 28 de septiembre de 2017

Licenciado
Luis Antonio Suárez Roldán
Decano
Facultad de Ciencias Económicas
Universidad de San Carlos de Guatemala
Su despacho

Señor Decano:

De conformidad con el nombramiento de su decanatura, con fecha 1 de septiembre de 2017, en el que se me designa asesor de tesis de la estudiante **ALMA YESSENIA CRUZ LÓPEZ**, carné **200812585**, con el tema "**APLICACIÓN DEL MODELO DE TRANSPORTE PARA DETERMINAR EL PROGRAMA ÓPTIMO DE DISTRIBUCIÓN DE HIERRO Y PERFILES EN UNA EMPRESA DISTRIBUIDORA CON SEDE CENTRAL EN ZONA 12, CIUDAD CAPITAL**", me permito informarle que he procedido a revisar el contenido de dicho estudio, encontrando que el mismo cumple con los lineamientos y objetivos planteados en el respectivo plan de investigación.

En virtud de lo anterior y considerando que este trabajo de tesis fue desarrollado de acuerdo a los requisitos reglamentarios de la Facultad, me permito recomendarlo para que sea discutido en Examen Privado de Tesis, previo a optar el título de Administrador de Empresas en el grado académico de Licenciada.

Atentamente,



Lic. M.Sc Victor Manuel Castro Sosa
Colegiado No. 2146



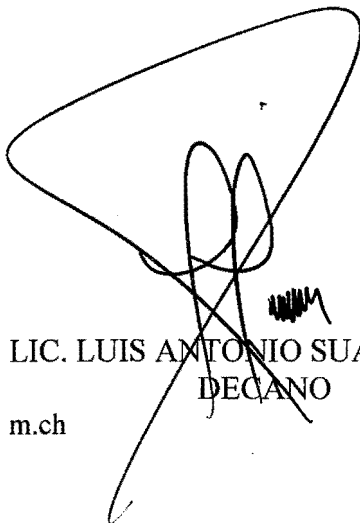
FACULTAD DE CIENCIAS
ECONOMICAS
EDIFICIO 'S-8'
Ciudad Universitaria zona 12
GUATEMALA, CENTROAMERICA

**DECANATO DE LA FACULTAD DE CIENCIAS ECONÓMICAS, GUATEMALA
VEINTE DE FEBRERO DE DOS MIL DIECIOCHO.**

Con base en el Punto QUINTO, inciso 5.1 subinciso 5.1.1 del Acta 02-2018 de la sesión celebrada por la Junta Directiva de la Facultad el 09 de febrero de 2018, se conoció el Acta ADMINISTRACIÓN 268-2017 de aprobación del Examen Privado de Tesis, de fecha 03 de noviembre de 2017 y el trabajo de Tesis denominado: "APLICACIÓN DEL MODELO DE TRANSPORTE PARA DETERMINAR EL PROGRAMA ÓPTIMO DE DISTRIBUCIÓN DE HIERRO Y PERFILES EN UNA EMPRESA DISTRIBUIDORA CON SEDE CENTRAL EN ZONA 12, CIUDAD CAPITAL", que para su graduación profesional presentó la estudiante **ALMA YESSENIA CRUZ LÓPEZ**, autorizándose su impresión.

Atentamente,

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"

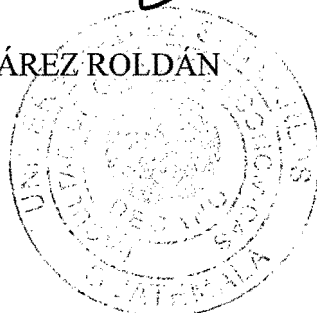


LIC. LUIS ANTONIO SUÁREZ ROLDÁN
DECANO

m.ch



LIC. CARLOS ROBERTO CABRERA MORALES
SECRETARIO



ACTO QUE DEDICO

- A DIOS Ser Supremo a quien debo mi vida, y quien en su infinita misericordia me ha dado sabiduría y fuerzas para alcanzar este triunfo. Para El siempre honor, honra y gloria.
- A MIS PADRES **David Cruz e Isabel López**, por ser los ángeles que Dios me regaló, por su amor y apoyo incondicional, este triunfo no es solo mío, es por y para ustedes, por su esfuerzo, sus sacrificios y lucha diaria para darme lo mejor ¡los amo con todo mi corazón!
- A MIS HERMANOS **Maribel, Silvia y Eder**, por sus muestras de cariño y por su apoyo; **Armando**, más que mi cuñado, mi hermano... a todos, los quiero mucho.
- A MIS SOBRINOS **Armando, Priscila y Melany** (mi hija postiza), quiero que este triunfo que hoy alcanzo sea motivación para que no dejen de luchar por sus sueños, todo esfuerzo tiene su recompensa en el tiempo de Dios, ¡los amo!
- A MIS PRIMOS **Jonnatan, Angel, Rony y Rudy**, por su apoyo en el transcurso de la carrera, ¡los quiero!
- A UNA PERSONA MUY ESPECIAL **Byron Mateo**, por su apoyo, cariño, su compañía y por contagiarme con su positivismo; gracias por estar a mi lado en esta última etapa de la carrera.
- A MIS AMIGOS DE PRIMARIA Y BÁSICOS **Cristha, Gloria, Henry Saucedo, Ricardo Santillana Henry Soto**; son tantos años de amistad y cariño, gracias por su apoyo y por los momentos que hemos compartido, que Dios los bendiga.

A MIS AMIGOS DE
UNIVERSIDAD

Liz, Angy, Manu, Fer, Omar, Julito, Santi, Chejo, César, Gabita, René, Keli, Astrid; este logro no fuera posible sin su apoyo, compañerismo y compromiso, fuimos un excelente equipo de trabajo en cada etapa. **Gerson**, nuestro canche, Dios te llamó a su presencia, pero tu recuerdo vive en nuestro corazón siempre, un abrazo hasta el cielo; a todos, muchas gracias.

A MIS AMIGOS

Oscar López, Christian Rosales, Marlon Aquino, Alex Silva, Samuel Navas, Victor Aragón; por su apoyo, amistad y cariño, gracias por ser parte de este triunfo.

A MI ASESOR

Lic. M.Sc Victor Castro, por sus consejos, su tiempo y su valiosa asesoría, que Dios lo bendiga.

A MI PADRINO

Lic. Oscar Quiñónez, por su apoyo profesional incondicional, sus consejos y su amistad, infinitas bendiciones.

A LOS DOCENTES

A todos los que han sido parte de mi formación académica profesional, principalmente a los Lics. y Licdas.: **Marlen de Burgos, Friné Salazar, Vicente Freixas, Andrés Castillo, Estuardo Arocha, Elder Valdez, Elisa Rojas, Dorothy Brown, Rossy Chavarría, Carlos Hernández, Luis Suárez;** gracias por estar pendientes de mis avances, por su apoyo y valiosa amistad.

AL ÁREA DE ADMÓN.
DE OPERACIONES

Gracias por abrirme sus puertas y darme la oportunidad de ser catedrática auxiliar por dos años junto a grandes profesionales, una experiencia muy grata que me permitió conocer a los docentes desde otra perspectiva y también aprender de los alumnos.

A MI TRICENTENARIA

Por ser mi segundo hogar, lugar donde adquirí los conocimientos profesionales. **Orgullosa de ser Sancarlista.**

ÍNDICE

Contenido	Página
INTRODUCCIÓN	i
CAPÍTULO I	
MARCO TEÓRICO	
1.1 EMPRESA	1
1.1.1 Empresa comercial	1
1.1.1.1 Empresa distribuidora	2
1.1.2 Producto a transportar	2
1.1.2.1 Hierro	2
1.1.2.2 Perfiles	2
1.1.2.3 Plataforma o tráiler	3
1.2 COSTOS	3
1.2.1 Costos fijos	3
1.2.2 Costos variables	3
1.2.3 Costos totales	3
1.2.4 Costos marginales	4
1.3 INVESTIGACIÓN DE OPERACIONES	4
1.3.1 Importancia de la investigación de operaciones	4
1.4 ¿QUÉ SE ENTIENDE CÓMO MODELOS MATEMÁTICOS?	4
1.4.1 Tipos de modelos	5
1.4.1.1 Modelos simbólicos o matemáticos	5

Contenido	Página
1.4.2 Clasificación de los modelos matemáticos	5
1.4.2.1 Cuantitativos y cualitativos	5
1.4.2.2 Estándar y hechos a la medida	6
1.4.2.3 Probabilístico y determinístico	6
1.4.2.4 Descriptivos y de optimización	6
1.4.3 Construcción de modelos	7
1.5 PROGRAMACIÓN LINEAL	7
1.5.1 Supuestos de la programación lineal	8
1.5.1.1 Supuesto de proporcionalidad	8
1.5.1.2 Supuesto de aditividad	8
1.5.1.3 Supuesto de divisibilidad	8
1.5.1.4 Supuesto de certidumbre	8
1.5.2 Forma de expresión	9
1.5.3 Conceptos básicos de formulación del modelo de programación lineal	9
1.5.3.1 Función objetivo	9
1.5.3.2 Variables de decisión	9
1.5.3.3 Restricciones	10
1.5.3.4 Solución óptima	10
1.5.4 Aplicaciones	10

Contenido	Página
1.5.5 Métodos de solución	11
1.5.5.1 Gráfico	11
1.5.5.2 Simplex	11
1.6 MODELOS DE PROGRAMACIÓN LINEAL	12
1.6.1 Modelo de asignación	12
1.6.2 Modelo de transporte	12
1.6.2.1 Matriz de origen y destino	13
1.7 TIPOS DE MODELOS DE TRANSPORTE	14
1.7.1 Equilibrado	14
1.7.2 No equilibrado	14
1.8 MÉTODOS DE SOLUCIÓN	15
1.8.1 Esquina Nor-Oeste	15
1.8.2 Mínimo Costo	16
1.8.3 Aproximación de Vogel o Multas	16
1.8.4 Método de Multiplicadores (pasos secuenciales)	17

CAPÍTULO II

DIAGNÓSTICO DE LA DISTRIBUIDORA DE HIERRO Y PERFILES

2.1 METODOLOGÍA UTILIZADA	18
2.1.1 Métodos	18
2.1.1.1 Método Científico	18

Contenido	Página
2.1.1.2 Método Deductivo – Inductivo	18
2.1.2 Técnicas	19
2.1.3 Instrumentos	19
2.2 ANTECEDENTES DE LA UNIDAD DE ANÁLISIS	20
2.2.1 Filosofía empresarial	20
2.2.1.1 Misión	20
• Visión	21
• Valores	21
2.2.2 Estructura organizacional	21
2.2.3 Actividad comercial	22
2.3 SITUACIÓN ACTUAL DE LA DISTRIBUCIÓN DE HIERRO Y PERFILES	23
2.3.1 Ubicación de bodegas de la empresa	23
2.3.2 Ubicación de las bodegas mayoristas	23
2.3.3 Rutas de transporte	23
2.3.4 Cantidad demandada	24
2.3.5 Cantidad ofertada	24
2.4 COSTOS DE TRANSPORTE	24
2.4.1 Determinación del costo fijo	25
2.4.2 Determinación del costo variable	26

CAPÍTULO III
APLICACIÓN DEL MODELO DE TRANSPORTE PARA DETERMINAR
EL PROGRAMA ÓPTIMO DE DISTRIBUCIÓN DE HIERRO Y PERFILES
EN UNA EMPRESA DISTRIBUIDORA

Contenido	Página
3.1 JUSTIFICACIÓN	31
3.2 APLICACIÓN	31
3.2.1 Planteamiento del problema	31
3.2.2 Planteamiento de la función objetivo	32
3.2.3 Planteamiento de las restricciones	32
3.2.4 Construcción de la matriz de transporte	33
3.3 SOLUCIÓN	34
3.3.1 Método de Transporte Esquina Nor-Oeste	34
3.3.2 Método de Transporte Mínimo Costo	36
3.3.3 Método de Transporte Aproximación de Vogel o Multas	38
3.3.4 Método de multiplicadores (pasos secuenciales)	40
3.3.5 Interpretación de resultados	63
3.3.6 Distribución propuesta	65
3.3.7 Propuesta de misión y visión	70
3.4 COMPROBACIÓN	70
3.4.1 En la función objetivo	70
3.4.2 En las restricciones	71

Contenido	Página
CONCLUSIONES	72
RECOMENDACIONES	73
BIBLIOGRAFÍA	74
ANEXOS	76

ÍNDICE DE FIGURAS

No.	Título	Página
1	Matriz de origen y destino	13
2	Organigrama actual, distribuidora de hierro y perfiles	22
3	Comparación del costo actual y el obtenido con los modelos de transporte	65
4	Distribución propuesta de la bodega Carretera a Puerto Quetzal	66
5	Distribución propuesta de la bodega 42 calle, zona 12	67
6	Distribución propuesta de la bodega Carretera al Atlántico	68
7	Distribución propuesta de la bodega Roosevelt	69

ÍNDICE DE CUADROS

No.	Título	Página
1	Costos fijos de transporte mensual	25
2	Costo variable por ruta	27
3	Costo total por ruta	28
4	Costos unitarios por quintal transportado	29
5	Oferta promedio de cada bodega de la distribuidora	30
6	Demanda promedio de los clientes mayoristas	30
7	Matriz de origen y destino con costos unitarios de transporte	34
8	Método de Transporte Esquina Nor-oeste	35
9	Programa de distribución factible, método de transporte esquina nor-oeste	36
10	Método de Transporte Mínimo Costo	37
11	Programa de distribución factible, método de transporte mínimo costo	38
12	Método de transporte aproximación de Vogel o multas	39
13	Programa de distribución factible, método de transporte aproximación de Vogel	40
14	Comparación de costos de los tres métodos de transporte	40

No.	Título	Página
15	Matriz para el cálculo de costos marginales	41
16	Matriz de redistribución de quintales de hierro y/o perfiles (1)	46
17	Matriz de redistribución de quintales de hierro y/o perfiles (2)	52
18	Matriz de redistribución de quintales de hierro y/o perfiles (3)	57
19	Programa óptimo de distribución	63
20	Diferencia entre el costo actual y los programas de distribución factibles	63
21	Análisis comparativo por semana, mes y año entre el costo actual y el calculado	64

ÍNDICE DE ANEXOS

No.	Título	Página
1	Guía de entrevista	77
2	Distribución actual de la bodega de Carretera a Puerto Quetzal a los diferentes destinos	78
3	Distribución actual de la bodega de la 42 calle a los diferentes destinos	79
4	Distribución actual de la bodega de Carretera al Atlántico a los diferentes destinos	80
5	Distribución actual de la bodega Roosevelt a los diferentes destinos	81

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, muchas empresas que se dedican a la distribución de productos no cuentan con métodos o procedimientos que les permita controlar de manera óptima sus rutas de reparto. De manera que, con la arbitrariedad que lo hacen, resultan elevando los costos de operación innecesariamente.

En la empresa unidad de investigación, de acuerdo a las actividades realizadas se determinó que no posee un control adecuado de sus rutas, que le ayude a determinar la distribución correcta de hierro y perfiles a sus diferentes bodegas, por lo que es necesario desarrollar investigaciones que tiendan a ubicar un modelo matemático que le permita a la empresa minimizar sus costos.

Después de estudiar todos los elementos de la empresa, la propuesta para mejorar las rutas de reparto tendrá diversos efectos, pues reducirá sus costos de operación en la distribución, lo que incrementará las utilidades, consolidará a la compañía y a sus trabajadores, dándoles más estabilidad; se espera mejorar la eficiencia, por tanto, lograr un mejor servicio que será un beneficio directo para los proveedores.

La investigación consta de tres capítulos; en el primero se detalla la terminología y conceptos que sirven de base para el desarrollo de la investigación. En donde, se hace una descripción de lo que es una empresa y costos. Además, se describe los tipos de modelos matemáticos que pueden ser utilizados en diferentes problemas. Se incluye la descripción de programación lineal y sus diferentes sub temas, los cuales son necesarios para la construcción, aplicación y resolución del modelo de transporte.

En el capítulo II se presenta la situación actual de la distribuidora de hierro y perfiles, la metodología de investigación, antecedentes, su filosofía empresarial, estructura organizacional, actividad comercial; así también, se muestra cómo están integradas sus rutas, cantidad ofertada y demandada, para concluir con la determinación de sus costos fijos, variables y totales de transporte.

En el capítulo III se integran los resultados obtenidos, con la aplicación del modelo matemático de transporte, desarrollado con el fin de dar solución a la problemática planteada, que sirva para tomar una decisión correcta, acerca de qué método le favorece más, en el desarrollo del programa óptimo de distribución, que le permitirá reducir los costos de transporte de sus bodegas hacia los clientes mayoristas.

Como parte final, se presentan las conclusiones y recomendaciones. Seguida de la bibliografía que fue consultada como fundamento para la realización de la investigación, finalmente se presentan los anexos.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

En el presente capítulo se desarrollan las principales bases teóricas y definiciones necesarias para la comprensión del problema a investigar. Tiene como finalidad ayudar a comprender el manejo de los conceptos básicos, los que servirán de referencia para interpretar los resultados y sustentar la propuesta.

1.1 EMPRESA

Es una unidad económico-social que ejecuta un conjunto de actividades y utiliza variedad de recursos (humanos, financieros, materiales y tecnológicos), con el fin de obtener beneficios y lograr determinados objetivos, que pueden ser la satisfacción de una necesidad o deseos de su mercado meta; está constituida a partir de conversaciones basadas en compromisos que adquieren las personas que la conforman y registrada como tal con un nombre que la identifique.

1.1.1 Empresa comercial

Es una organización que se dedica al mercadeo de productos terminados, asimismo, es un canal de distribución entre el productor y el consumidor final de determinados bienes. Dentro de estas se pueden mencionar:

- Las fábricas, distribuidoras, almacenes, tiendas.
- Las empresas de transporte terrestre y marítimo.
- Empresas de depósitos de mercadería, provisiones o suministros.

De acuerdo al monto de ventas, las empresas comerciales se pueden clasificar como:

- a) **Mayoristas:** son las que efectúan ventas a gran escala a empresas minoristas y también a mayoristas.

b) Minoristas: son las que venden sus productos al detalle al consumidor final.

1.1.1.1 Empresa distribuidora

Este tipo de empresas se dedican a ser intermediarios, desde que el producto ha sido elaborado por el fabricante, hasta que es trasladado a los clientes, ya sean mayoristas o minoristas. Posibilitan que los clientes tengan los bienes en el lugar, tiempo y cantidades requeridas.

1.1.2 Producto a transportar

La unidad de análisis se dedica a transportar por medio de tráiler (la empresa les llama plataforma), hierro y perfiles a sus clientes mayoristas, desde sus bodegas principales hasta los destinos específicos.

1.1.2.1 Hierro

El hierro es un elemento metálico, maleable de color plateado. En este caso se refiere a las varillas de hierro que son utilizadas principalmente en la construcción, las cuales se presentan de forma corrugada y lisa, las primeras facilitan la adherencia a los otros materiales como el concreto. Son de diámetro generalmente circular, pueden ser desde 0.1 hasta los 12 metros de largo.

Las medidas son 1/4", 3/8", 1/2", 5/8", 3/4", 7/8", 1"; en calibres identificados del 2 al 10 respectivamente.

1.1.2.2 Perfiles

Son conocidos como hierro en formas, estos pueden ser fabricados principalmente de hierro, acero inoxidable y aluminio. Su uso se extiende en varios ámbitos, entre los cuales se pueden mencionar: enmarcado de ventanas y puertas, barandas, fachadas y cerramientos de techos.

La forma de estos puede ser de I, H y T, angulares o canales.

1.1.2.3 Plataforma o tráiler

Transporte de carga utilizado para trasladar mercancías de gran peso y volumen, está formado por dos partes; la primera es conocida como cabezal, que es quien tiene la fuerza para arrastrar el remolque, que es la segunda parte del tráiler.

1.2 COSTOS

Se relacionan directamente en la obtención del precio unitario de transporte. “Son un resumen de erogaciones-gastos aplicados a un objetivo preciso: productivo o distributivo, recuperable a través de los ingresos que generen”. (8:17)

Los costos son el desembolso de dinero y de recursos necesarios con el fin de obtener un bien (costo de inversión).

1.2.1 Costos fijos

“Son costos que permanecen constantes en su magnitud, independientemente de los cambios en el nivel de actividad o producción”. (2:22). Como por ejemplo: sueldo de pilotos y ayudantes, alquileres, amortizaciones, gastos de administración, depreciación y mantenimiento.

1.2.2 Costos variables

“Son aquellos costos que varían en proporción directa a los cambios en los niveles de producción o actividad”. (2:21). Como ejemplo: materia prima, material de empaque, combustible. Los cuales no son constantes, pueden aumentar o disminuir dependiendo de la producción.

1.2.3 Costos totales

Estos costos se derivan de la sumatoria de los costos fijos más los costos variables, siendo el total que la empresa debe invertir para producir determinado volumen de productos.

1.2.4. Costos marginales

En el tema de transporte, estos costos son el aumento o disminución del costo de envío, conforme aumenta o disminuye una unidad en la cantidad que se asigna en una celda.

1.3 INVESTIGACIÓN DE OPERACIONES

Se le llama así, al proceso que permite dar solución a problemas, a través de modelos matemáticos, para que sirvan de apoyo en la toma de decisiones, con el fin de determinar cómo se puede llevar a cabo la maximización de las utilidades o la minimización de los costos.

“La razón por la cual se le da el nombre de Investigación de Operaciones, es porque se aplica a problemas que se refieren a la conducción y coordinación de operaciones dentro de una organización”. (6:3)

1.3.1 Importancia de la investigación de operaciones

Realizar investigación de operaciones es de suma importancia, porque permite a la organización tomar decisiones correctas o más acertadas, se puede calcular de manera precisa los resultados necesarios para alcanzar los objetivos establecidos en la organización.

1.4 ¿QUÉ SE ENTIENDE CÓMO MODELOS MATEMÁTICOS?

Thierauf (2008) indica que un modelo matemático “Es una representación o abstracción de una situación u objeto reales, que muestra reacción en términos de causa y efecto. Para que sea completo, el modelo debe ser representativo de aquellos aspectos de la realidad que están investigándose”. (p.24)

Una razón importante para desarrollar los modelos es descubrir las variables importantes, lo que permite asociarlo con la relación que existe entre dichas variables; para investigar estas relaciones se utilizan técnicas como la estadística y la simulación.

1.4.1 Tipos de modelos

Estos pueden ser:

1.4.1.1 Modelos simbólicos o matemáticos

“Son verdaderas representaciones de la realidad y toman la forma de cifras, símbolos y matemáticas. Comienzan como modelos abstractos que formamos en nuestra mente y que luego se registran como modelos simbólicos”. (9:25)

En la investigación de operaciones, las ecuaciones son ejemplos de modelos matemáticos, sus símbolos son fáciles de manipular manualmente y además, por medio de las computadoras.

1.4.2 Clasificación de los modelos matemáticos

Se separan en las siguientes categorías:

1.4.2.1 Cuantitativos y cualitativos

“La mayor parte del pensamiento relacionado con los problemas de negocios comienza con los modelos cualitativos y llega gradualmente hasta un punto donde pueden ser cuantitativos. Cuando construimos un modelo matemático e insertamos símbolos para representar constantes y variables (en gran parte números), llamamos a esto un modelo cuantitativo. Se considera que una ecuación matemática es un modelo de este tipo, porque representa una abstracción de las relaciones o condiciones entre constantes y variables”. (9:26)

1.4.2.2 Estándar y hechos a la medida

“Se usan modelos estándar para describir las técnicas que han llegado a asociarse con la investigación de operaciones. Para usar estas técnicas insértense los números apropiados de un problema específico de negocios en el modelo estándar para obtener una respuesta. Se obtiene un modelo hecho a la medida cuando se usan los conceptos básicos de las diversas disciplinas y especialmente las matemáticas, para construir un modelo que se ajuste al problema de que se trata”. (9:26)

Realizar la construcción de un modelo de tipo estándar puede extender el tiempo y el costo para darle solución al problema de modo aceptable.

1.4.2.3 Probabilístico y determinístico

“Los modelos que se basan en las probabilidades y en las estadísticas y que se ocupan de incertidumbres futuras se llaman probabilistas. Los modelos cuantitativos que no contienen consideraciones probabilísticas se llaman modelos determinísticos”. (9:27)

Ambos modelos se ocupan de eventos presentes y futuros, pero en los determinísticos se utilizan valores precisos, mientras que en los probabilísticos existe una base de experiencia pasada donde existe una incertidumbre en la toma de decisiones.

1.4.2.4 Descriptivos y de optimización

El modelo descriptivo tiene capacidad de solución, sin embargo, no se hace el intento por encontrar o seleccionar una mejor alternativa, solo describe las selecciones presentes; los modelos de optimización tratan de encontrar el valor que deben tomar las variables para llegar a una solución óptima satisfaciendo el conjunto de restricciones.

Los modelos no simulados, pueden utilizar o no la computadora, ya que cuentan con técnicas preparadas especialmente para sus soluciones respectivas.

1.4.3 Construcción de modelos

Los pasos para llevar a cabo la construcción de modelos, son los siguientes:

- Detallar todos los componentes que contribuirán a la efectividad de la operación del sistema.
- Determinar si deben usarse esos componentes, lo cual es difícil, porque es casi imposible controlar el comportamiento de una sola variable debido a la relación funcional con otras.
- Probar experimentalmente todos los datos disponibles, para evitar que alguno que fue tomado como insignificante pueda ser importante más adelante.
- Una vez seleccionados los elementos importantes, se pueden combinar o dividir.
- Asignar un símbolo a cada elemento, en donde por lo menos un símbolo represente la medida de eficacia o ineficacia.

De esta manera es como se construye un modelo matemático, una ecuación o una serie de ellas, para expresar la eficacia del proceso o sistema.

1.5 PROGRAMACIÓN LINEAL

Es una técnica matemática a través de la cual se pueden resolver situaciones reales, con el objetivo primordial de optimizar una función objetivo, ya sea maximizar o minimizar, por medio de la aplicación de diversas restricciones a sus variables.

1.5.1 Supuestos de la programación lineal

Desde el punto de vista matemático, los supuestos son que el modelo debe tener una función objetivo lineal, la cual está sujeta a restricciones lineales. Sin embargo, “desde el punto de vista de modelación, estas propiedades matemáticas de un modelo de programación lineal, implican que se deben considerar ciertos supuestos acerca de las actividades y datos del problema que será modelado, incluso algunos acerca del efecto de las variaciones en el nivel de las actividades”. (5:37)

1.5.1.1 Supuesto de proporcionalidad: “la contribución de cada actividad al valor de la función objetivo Z es proporcional al nivel de la actividad x_j ”. (5:38)

Este supuesto elimina cualquier exponente diferente de 1, para las variables en cualquier término de las funciones, ya sea en la función objetivo o la función de la izquierda en las restricciones; pero no prohíbe los términos de productos cruzados (estos términos incluyen el producto de dos o más variables).

1.5.1.2 Supuesto de aditividad: “cada función de un modelo de programación lineal (ya sea la función objetivo o el lado izquierdo de las restricciones funcionales) es la suma de las contribuciones individuales de las actividades respectivas”. (5:40)

1.5.1.3 Supuesto de divisibilidad: “en un modelo de programación lineal, las variables de decisión pueden tomar cualquier valor, incluso valores no enteros, que satisfagan las restricciones funcionales y de no negatividad. Como cada variable de decisión representa el nivel de alguna actividad, se supondrá que las actividades se pueden realizar a niveles fraccionales”. (5:42)

1.5.1.4 Supuesto de certidumbre: “se supone que los valores asignados a cada parámetro de un modelo de programación lineal son constantes conocidas”. (5:43)

En la realidad, este supuesto casi nunca se satisface, debido a que al aplicar el modelo de programación lineal se eligen cursos de acción para futuro; por tanto, los parámetros que se emplean están basados en predicciones de las condiciones a futuro, donde es ineludible que haya cierto grado de incertidumbre.

Después de encontrar una solución óptima, es importante realizar un análisis de sensibilidad, para así, determinar que los valores de los parámetros no cambien mucho para no afectar la solución óptima; dichos parámetros están basados en predicciones, por lo que es necesario realizar dicho análisis.

1.5.2 Forma de expresión

Los problemas de programación lineal se expresan de la siguiente manera: cuando la función es lineal en x y y , tiene la forma:

$$\text{MAX } Z = ax + by \quad \text{o} \quad \text{MIN } Z = ax + by$$

Donde a y b son constantes. Las restricciones correspondientes deben estar representadas mediante un sistema de desigualdades lineales, que implican " \leq " o bien " \geq " o ecuaciones lineales en x y y , y que todas las variables sean no negativas.

1.5.3 Conceptos básicos de formulación del modelo de programación lineal

Para comprender un problema de programación lineal, es importante conocer algunos conceptos y definiciones, entre ellos se pueden mencionar los siguientes.

1.5.3.1 Función objetivo

Es una expresión matemática en forma de ecuación, cuyo objetivo es la maximización o minimización, dadas las restricciones determinadas.

1.5.3.2 Variables de decisión

Son elementos con valores desconocidos o incógnitos, los cuales deben ser determinados a partir de la resolución del modelo de programación lineal seleccionado.

1.5.3.3 Restricciones

“Son todas las limitaciones que se pueden imponer sobre los valores de las variables de decisión, casi siempre en forma de ecuaciones o desigualdades”.
(5:12)

1.5.3.4 Solución óptima

Es la mejor solución, la que satisface con todas las restricciones establecidas del modelo.

1.5.4 Aplicaciones

La programación lineal es una herramienta de gran utilidad, ya que ayuda a la selección de alternativas óptimas en la resolución de problemas de decisión. Es aplicable en cualquier área de las organizaciones, por ejemplo en el área de finanzas para comprobar si la cantidad que una persona desea invertir en determinado proyecto maximizará sus ganancias totales; en el área mercadológica puede establecer la combinación correcta de medios para llevar a cabo una campaña publicitaria, por mencionar algunas.

En la administración de operaciones y el área de producción, la programación lineal permite decidir sobre la cantidad que una empresa debe producir de cada uno de sus productos, con el fin de aumentar sus beneficios, sin dejar de cumplir con algunas restricciones o requisitos; además, la administración de operaciones se encarga de la logística en las empresas, por tanto, la programación lineal en este aspecto permite la implementación de métodos de transporte, con los cuales se obtienen programas factibles para transportar desde los orígenes a cada uno de los destinos posibles, con el fin de minimizar los costos

1.5.5 Métodos de solución

Los problemas de programación lineal se pueden solucionar por medio de los métodos siguientes:

1.5.5.1 Gráfico

También es conocido como método geométrico, con éste método se busca maximizar o minimizar una función objetivo, sujeta a ciertas restricciones lineales, donde se utiliza el cuadrante positivo de las coordenadas cartesianas, con el trazo de rectas horizontales, verticales y diagonales para determinar un área de solución común. Una de las ventajas del método gráfico es que es fácil de aprender, ya que el proceso resuelve sistemas de inecuaciones de primer grado.

Cuando los problemas constan de dos variables, este método suele dar la solución óptima. Su limitación radica en que no es aplicable para problemas de más de dos variables.

1.5.5.2 Simplex

Cuando el número de variables es mayor de dos, este es el método indicado para dar solución al problema.

El método simplex implica un procedimiento algebraico que permite mejorar una solución básica, hasta encontrar un programa óptimo. Es factible para la solución de problemas de programación lineal más complejos que los que se pueden resolver por medio del método gráfico.

Se debe considerar que este método trabaja únicamente con restricciones cuyas inecuaciones sean " \leq " (menor o igual) y los coeficientes independientes sean mayores o iguales a cero (0); por tal razón, se deben estandarizar las restricciones para que cumplan con los requisitos y así dar inicio a la solución.

1.6 MODELOS DE PROGRAMACIÓN LINEAL

Para el modelo de programación lineal, pueden desarrollarse los siguientes:

1.6.1 Modelo de asignación

“Se refiere a la clase de modelos de programación lineal que implican determinar la asignación más eficiente de personas a proyectos, vendedores a territorios, contratos a licitadores, trabajos a máquinas y así por el estilo. El objetivo más frecuente es minimizar los costos totales o tiempo total de realizar las tareas en cuestión. Una importante característica de los problemas de asignación es que sólo se asigna un trabajo o trabajador a una máquina o proyecto” (7:394)

El modelo de asignación tiene como objetivo asignar a cada trabajador una tarea, con el fin de lograr que todas terminen en el menor tiempo posible, se minimicen los costos totales o mejoren los rendimientos en el desarrollo de las actividades. La condición que se debe cumplir es que cada hombre pueda ser asignado a un trabajo y que cada trabajo tenga a una persona asignada; para que un problema de este tipo tenga solución tiene que estar equilibrado, es decir, que el total de orígenes sean iguales a los destinos.

1.6.2 Modelo de transporte

“Fue ideado para manejar la distribución de mercancías desde varios puntos de suministro (orígenes) hasta varios puntos de demanda (destinos). Casi siempre se tiene una capacidad dada de mercancías en cada origen y un requerimiento dado para ellas en cada destino. El objetivo del problema es programar los envíos desde los orígenes hasta los destinos de modo que los costos totales de transporte y producción se reduzcan al mínimo”. (7:394)

Los principales objetivos de un modelo de transporte son, la satisfacción de todos los requerimientos establecidos por los destinos y la minimización de los costos de transporte, esto mediante la determinación de un programa óptimo de distribución,

con el cual se regulan las rutas de mercancías de varias fuentes a varios destinos. Este modelo supone que el costo de envío en determinada ruta es directamente proporcional al número de unidades que se envían en esa ruta.

1.6.2.1 Matriz de origen y destino

Es un arreglo rectangular o cuadrado que está formado por celdas, filas y columnas, que permite conocer los flujos de transporte entre los diferentes puntos analizados. En la primera fila se ubican los posibles destinos y en la primera columna los orígenes; en la última fila se coloca la demanda de cada destino y en la última columna la oferta disponible de cada origen. En el extremo superior derecho de cada celda, se encuentran unas mini celdas, en las cuales se coloca el costo unitario de transporte del origen al destino.

**FIGURA 1
MATRIZ DE ORIGEN Y DESTINO**

DE \ A	D ₁	D ₂	..	D _n	OFERTA
O ₁	$\begin{matrix} C_{11} \\ X_{11} \end{matrix}$	$\begin{matrix} C_{12} \\ X_{12} \end{matrix}$	$\begin{matrix} \dots \\ \dots \end{matrix}$	$\begin{matrix} C_{1n} \\ X_{1n} \end{matrix}$	A ₁
O ₂	$\begin{matrix} C_{21} \\ X_{21} \end{matrix}$	$\begin{matrix} C_{22} \\ X_{22} \end{matrix}$	$\begin{matrix} \dots \\ \dots \end{matrix}$	$\begin{matrix} C_{2n} \\ X_{2n} \end{matrix}$	A ₂
:	$\begin{matrix} \dots \\ \dots \end{matrix}$	$\begin{matrix} \dots \\ \dots \end{matrix}$	$\begin{matrix} \dots \\ \dots \end{matrix}$	$\begin{matrix} \dots \\ \dots \end{matrix}$:
O _m	$\begin{matrix} C_{m1} \\ X_{m1} \end{matrix}$	$\begin{matrix} C_{m2} \\ X_{m2} \end{matrix}$	$\begin{matrix} \dots \\ \dots \end{matrix}$	$\begin{matrix} C_{mn} \\ m_{2n} \end{matrix}$	A _m
DEMANDA	B ₁	B ₂	..	B _n	$\begin{matrix} \Sigma O \\ \Sigma D \end{matrix}$

Fuente: elaboración propia, con base en indicaciones de terna examinadora.

Donde:

- **Origen (O):** es el lugar de donde se envían las unidades disponibles, el punto de partida para iniciar la distribución.
- **Destino (D):** corresponde al lugar que recibe las unidades requeridas.
- **Costo unitario de transporte (C):** es lo que cuesta enviar, del punto de origen al punto destino, una unidad.
- **Oferta (A):** es la cantidad de un bien que se tiene disponible para ofrecer a los clientes.
- **Demanda (B):** cantidad de un bien que el cliente desea adquirir.
- **m:** fila.
- **n:** columna.
- **X:** es la cantidad de producto a enviar, de un origen a un destino.

1.7 TIPOS DE MODELOS DE TRANSPORTE

De acuerdo a la demanda y la oferta, los modelos pueden clasificarse en:

1.7.1 Equilibrado u homogéneo

En este modelo las sumatorias de la demanda y la oferta es la misma.

1.7.2 No equilibrado o no homogéneo

Este modelo se maneja con facilidad mediante la introducción de orígenes o destinos ficticios. Se puede dar de dos formas: cuando la demanda es menor que la oferta, es decir, que se crea un destino ficticio, con una demanda exactamente igual al excedente; por el contrario, cuando la demanda es mayor que la oferta, se inserta un origen ficticio con una oferta igual al exceso de demanda sobre la oferta.

En cualquiera de las dos situaciones se asignan costos de envío de cero a cada localidad o ruta ficticia, dado que no se hace ningún envío de un origen ficticio hacia un destino ficticio.

“Cualesquiera unidades asignadas a un destino ficticio representan una capacidad excedente y las asignadas a un origen ficticio representan una demanda no satisfecha”. (7:413)

1.8 MÉTODOS DE SOLUCIÓN

Para dar solución a un problema de transporte, existen entre otros métodos: esquina nor-oeste, mínimo costo y aproximación de Vogel o multas; también se realiza un proceso conocido como pasos secuenciales, el cual ayuda a determinar el programa óptimo de distribución.

1.8.1 Esquina Nor-Oeste

Este método es sencillo pero el menos probable para dar una solución óptima, ya que no toma en cuenta ni la cantidad a distribuir ni el costo; para su desarrollo se parte de la celda superior izquierda (esquina nor-oeste) de la tabla y se asignan unidades a las rutas de envío, de la siguiente manera:

- Agotar la oferta en cada fila antes de asignar la siguiente fila.
- Agotar los requerimientos de cada columna antes de continuar hacia la derecha con la columna siguiente.
- Comprobar que todas las ofertas y demandas se satisfagan.

1.8.2 Mínimo Costo

En este método se inicia identificando la celda que tenga el menor costo y se asignan las unidades que sean posibles, agotando la oferta o satisfaciendo la demanda.

Los pasos principales para realizar este método son:

- Determinar si el problema es homogéneo, de no serlo, se agrega la fila o columna ficticia según se requiera.
- Identificar la celda con el menor costo (diferente de cero) y asignar la cantidad de unidades que satisfagan la demanda o agote la oferta; de haber más de una celda con el mismo costo mínimo, se asigna de manera arbitraria.
- Ajustar las cantidades de oferta y demanda, luego de cada asignación.
- Repetir los pasos anteriores, cuantas veces sea necesario hasta que las ofertas y demandas sean iguales a cero.

1.8.3 Aproximación de Vogel o Multas

“Aborda el problema de encontrar una buena solución inicial bajo la premisa de tomar en cuenta los costos asociados con cada ruta alternativa”. (7:410)

Este método es una versión mejorada de los dos anteriores, produce mejores soluciones factibles, es decir, que reporta un menor valor en la función objetivo (minimización).

Los pasos para llevar a cabo este método son:

- Encontrar la multa (diferencia) entre los dos costos de envío unitarios más bajos de cada fila y cada columna en la matriz de transporte.
- Identificar la fila o columna con el costo de multa más alto.
- Asignar tantas unidades como sea posible a la celda de costo más bajo (distinto de cero) de la fila o columna seleccionada.

- Ajustar la oferta y la demanda, restando la cantidad asignada, anulando las celdas donde ya no sea posible realizar asignación alguna.
- Calcular de nuevo las multas, omitiendo las filas y las columnas que ya fueron canceladas.
- Repetir los pasos hasta que las ofertas y demandas sean iguales a cero.

1.8.4 Método de Multiplicadores (pasos secuenciales)

Este método se aplica al programa factible de menor costo que haya resultado de los tres métodos anteriores; el objetivo de este proceso consiste en reducir aún más el costo total de transporte, a través del cálculo de costos marginales para cada una de las celdas que se encuentren vacías, en la última matriz seleccionada con el costo mínimo.

Los pasos a seguir son los siguientes:

- Se calculan los costos marginales para cada una de las celdas que se encuentran vacías en la matriz.
- Se realiza la redistribución tomando como base, el ciclo que dio el costo marginal menor (el más negativo).
- Determinar la cantidad máxima de unidades que se puede asignar a la celda vacía con el costo marginal menor y reajustar las asignaciones de las celdas ocupadas, solo las involucradas en el ciclo.
- Repetir los pasos anteriores, hasta que todos los costos marginales sean positivos o ceros.
- Elaborar el programa de distribución óptima.

CAPÍTULO II

DIAGNÓSTICO DE LA DISTRIBUIDORA DE HIERRO Y PERFILES

El presente capítulo expone la metodología utilizada, para recabar la información necesaria que diera solución a la problemática encontrada en la organización; además, se muestra el origen de la empresa, su filosofía empresarial, estructura organizacional y demás información que permitió establecer los costos de transporte.

2.1 METODOLOGÍA UTILIZADA

Para llevar a cabo la investigación fue necesario utilizar métodos, técnicas e instrumentos que permitieran recopilar la información.

2.1.1 Métodos

Estos constituyen la serie de pasos que se siguieron para dar solución al problema de investigación, los que se utilizaron son:

2.1.1.1 Método Científico

Se aplicó en sus tres fases: indagadora, para recolectar la información necesaria; demostrativa, permitió obtener las evidencias que permitieran demostrar la veracidad de las hipótesis planteadas; y la fase expositiva, la cual consiste en presentar los resultados, los que se muestran en el informe.

2.1.1.2 Método Deductivo - Inductivo

Como primer paso se realizó una investigación de la situación actual de la empresa, partiendo de lo general a lo particular, para poder así integrar el análisis.

2.1.2 Técnicas

Se recopiló y analizó información que se obtuvo a través de las técnicas de: observación directa, entrevista e investigación bibliográfica.

La observación directa se realizó por medio de visitas, únicamente a dos de las bodegas de origen, esto debido a la distancia y la inseguridad para visitarlas todas, siendo estas la central ubicada en la zona 12 y Roosevelt zona 11, con el fin observar las unidades de transporte y sus rutas, y así corroborar información presentada por el jefe de logística en cuanto a los kilómetros recorridos. Por motivos de tiempo y distancia no se pudo visitar las otras dos bodegas asignadas a la investigación.

Debido al poco tiempo con el que contaban, la entrevista se realizó en tres sesiones, al jefe de logística en conjunto con el jefe financiero, quienes brindaron información sobre los costos de transporte, rutas de distribución y su kilometraje, así como, bodegas de los clientes mayoristas, que sirvieron de sustento para realizar la investigación.

Para poder realizar los cálculos necesarios, el jefe financiero permitió ver los datos de los estados financieros para extraer los costos que fueran precisos, determinando que el costo de transporte está integrado por: sueldo del piloto, sueldo de ayudantes, depreciación de las unidades y combustible.

2.1.3 Instrumentos

Para obtener la información se realizó una guía de entrevista, la cual permitió obtener los datos necesarios para llevar a cabo la investigación y así determinar la situación actual de la distribución de hierro y perfiles en la empresa.

También se hizo uso de fichas bibliográficas, estas con el fin de registrar los datos de identificación de los libros y documentos que fueron utilizados para realizar la

parte teórica de la investigación; con la información recopilada en dicha herramienta, se desarrolla de manera correcta la bibliografía, ya que se registran datos como: nombre del autor, título del libro, nombre de la editorial, lugar y año de edición y número de páginas del texto.

2.2 ANTECEDENTES DE LA UNIDAD DE ANÁLISIS

La empresa que se investiga se dedica a la distribución de hierro y perfiles a clientes mayoristas.

Inició operaciones hace 40 años como una necesidad de la organización matriz por contar con su propia distribuidora y así no contratar a terceros.

Actualmente, cuenta con cuatro centros de distribución, los cuales se encargan de abastecer a los clientes mayoristas en las distintas áreas de la capital y varios departamentos; tres de estas bodegas se encuentran ubicadas en la Ciudad Capital, la principal se encuentra en la 42 calle zona 12 y una en el interior del país en el kilómetro 80 Carretera a Puerto Quetzal.

2.2.1 Filosofía empresarial

La filosofía de la empresa en estudio no se encuentra de forma escrita, por lo cual fue proporcionada por el jefe de logística a través de entrevista, y es la siguiente:

2.2.1.1 Misión

“Somos un equipo de colaboradores que trabaja con disciplina, honradez y sacrificio; distribuyendo productos de acero para la construcción con altos estándares de calidad, garantizando con ello la satisfacción de nuestros clientes”.

- **Visión**

“Ser la empresa más eficiente en la industria de la producción siderúrgica a nivel nacional y centroamericano con productos de calidad que sobrepasen las expectativas del mercado”.

- **Valores**

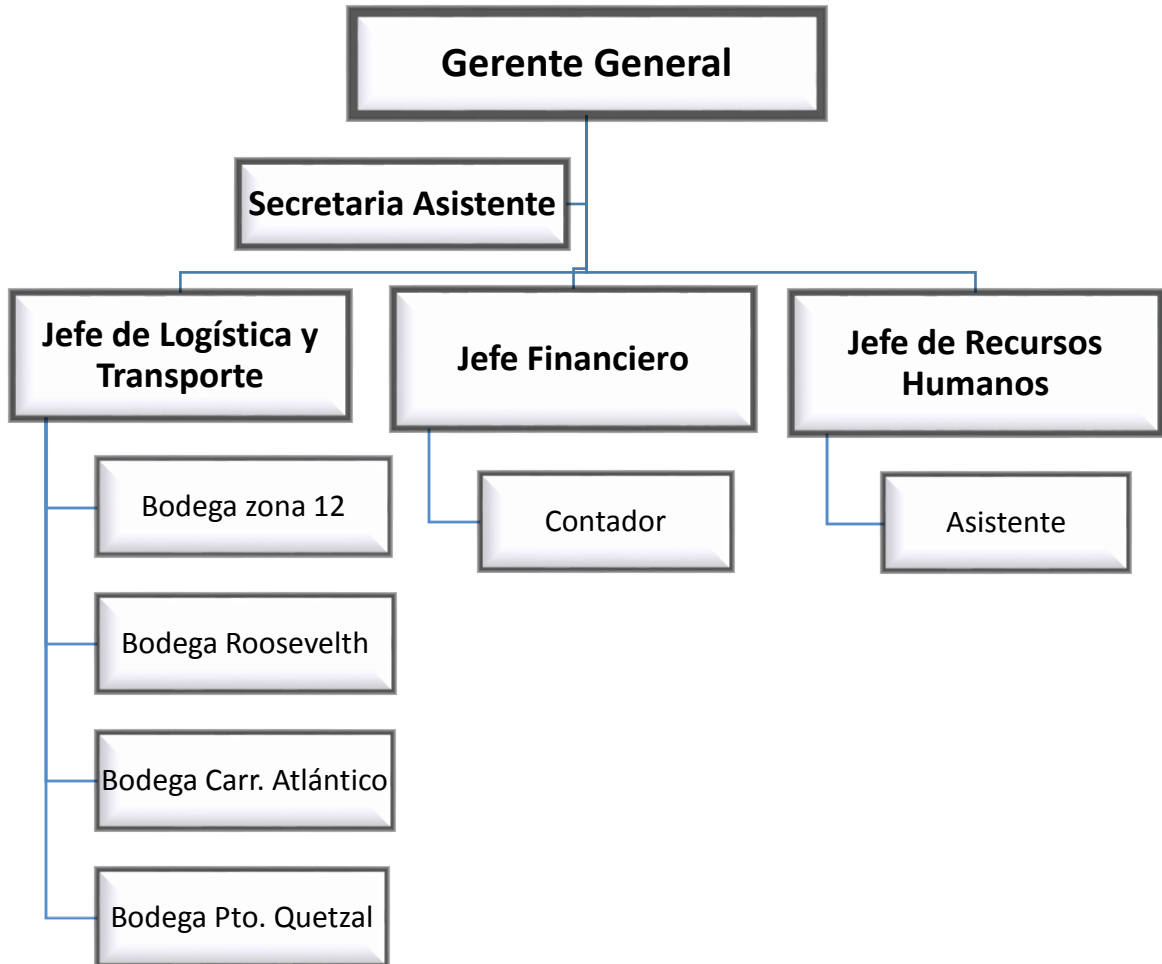
A través de la entrevista realizada, se pudo determinar que la empresa no cuenta con valores plasmados para su conocimiento.

2.2.2 Estructura organizacional

Para el funcionamiento administrativo y operativo de la distribuidora, el equipo de trabajo se encuentra conformado por personal capacitado y con experiencia en las áreas siguientes:

- **Gerencia General:** se encarga de planificar, organizar, dirigir y controlar las actividades de la organización; así también, es la representación formal y legal de la empresa.
- **Jefatura de Logística y Transporte:** esta área se encarga del control adecuado de los productos que se distribuyen a los distintos clientes, así como de las unidades que transportan los materiales.
- **Jefatura Financiera:** lleva el control de los estados financieros, elaboración de ingresos y egresos de la organización.
- **Jefatura de Recursos Humanos:** es la encargada de facilitar el personal adecuado a las áreas de trabajo.

**FIGURA 2
ORGANIGRAMA NOMINAL ACTUAL
DISTRIBUIDORA DE HIERRO Y PERFILES**



Fuente: elaborado con información proporcionada por la empresa.

2.2.3 Actividad comercial

Actualmente la empresa se encarga de la distribución de hierro y perfiles al mayoreo a sus diferentes clientes, las ventas y traslados se efectúan a través de sus cuatro bodegas, tres de ellas en la ciudad capital y una en carretera a Puerto Quetzal.

2.3 SITUACIÓN ACTUAL DE LA DISTRIBUCIÓN DE HIERRO Y PERFILES

En el presente numeral se detallan las ubicaciones tanto de las bodegas de la empresa, como de sus socios mayoristas; las rutas de transporte estudiadas, así también la cantidad de oferta y demanda de la distribuidora. Se incluyen los costos fijos, variables y los diferentes objetos de gasto.

El jefe de logística indicó que la empresa no cuenta con controles, que les permita tener un manejo correcto de sus rutas de distribución, realizan el reparto de manera arbitraria, de acuerdo a la bodega que tenga disponibilidad de plataformas con su respectivo piloto y ayudantes, lo cual genera que los costos de transporte se eleven.

2.3.1 Ubicación de bodegas de la empresa

- Carretera Puerto Quetzal, Km. 80
- 42 calle zona 12
- Carretera al Atlántico, Km. 14
- Calzada Roosevelt, Km. 15

2.3.2 Ubicación de las bodegas de los clientes mayoristas

Las bodegas de los clientes mayoristas a quienes se les distribuye se encuentran ubicados en: San Cristóbal Km. 18.5 zona 8 Mixco, Palín Km. 40, Chimaltenango Km. 52.5 y El Rancho Km. 84 carretera al atlántico.

2.3.3 Rutas de transporte

Las rutas de distribución que la empresa emplea y que fueron proporcionadas para el estudio son:

- De la bodega Puerto Quetzal: a San Cristóbal, Palín, Chimaltenango y El Rancho.

- De la bodega zona 12: a San Cristóbal, Palín, Chimaltenango y El Rancho.
- De la bodega Km. 14: a San Cristóbal, Palín, Chimaltenango y El Rancho.
- De la bodega Roosevelt: a San Cristóbal, Palín, Chimaltenango y El Rancho.

2.3.4 Cantidad demandada

De acuerdo a los registros de ventas se determinó que los clientes mayoristas de Chimaltenango, Palín, San Cristóbal y El Rancho, tienen una demanda promedio semanal de hierro de 2,000, 2,300, 1,900 y 2,000 quintales, respectivamente. Haciendo un total de cantidad demandada de 8,200 quintales.

2.3.5 Cantidad ofertada

Se indicó por parte del jefe de logística, que la empresa cuenta con reservas suficientes para poder abastecer a los clientes mayoristas en su totalidad, por lo que su existencia promedio mínima de hierro es de: bodega Puerto Quetzal 2,500 quintales, bodega zona 12, 2,200 quintales, bodega Carretera al Atlántico Km. 14, 2,300 quintales y bodega Roosevelt 2,300 quintales; por lo que la cantidad total ofertada promedio de hierro es de 9,300 quintales.

2.4 COSTOS DE TRANSPORTE

La empresa brindó, los datos necesarios para calcular el costo de transporte, tomando en consideración las cuentas de: sueldo de piloto y ayudantes, combustible, mantenimiento y depreciación de las plataformas. Para la realización del estudio se consideran los siguientes datos:

2.4.1 Determinación del costo fijo

- Jornada laboral de ocho horas diarias.
- 30 días laborales al mes.
- En promedio se realizan tres entregas al día.
- 90 entregas mensuales por plataforma.
- La capacidad de cada plataforma es de 500 quintales.

CUADRO 1
COSTOS FIJOS DE TRANSPORTE MENSUAL
Año 2016

Cuenta	Costos mensuales en quetzales
Sueldo de piloto	Q4,200.00
Sueldo ayudante 1	Q2,500.00
Sueldo ayudante 2	Q2,500.00
Depreciación	Q4,750.00
Mantenimiento	Q 3,774.46
TOTAL	Q 17,724.46

Fuente: elaboración propia, con información proporcionada por la empresa.

Se determinó que los costos fijos de transporte en que incurre la empresa de forma mensual son Q 17, 724,46; costo con el que se determina el precio por quintal de hierro y/o perfil transportado.

$Q 17, 724,46 / 90 \text{ entregas mensuales} = \mathbf{Q 196.9384444 \text{ por ruta}}$

$Q 196.9384444 / 500 \text{ quintales} = Q 0.393876888$

Se determinó que el costo fijo por ruta es **Q 196.9384444** y por quintal transportado **Q 0.393876888**.

2.4.2 Determinación del costo variable

- Galón de diésel Q 19.82
Precio considerado hasta el 20 de noviembre de 2017.
- 7.46 kilómetros recorridos promedio por galón de diésel.
- La capacidad de la plataforma es de 500 quintales.

$Q 19.82 / 7.46 \text{ kms} = Q 2.656836461$ costo de combustible promedio por kilómetro recorrido.

CUADRO 2
COSTO VARIABLE POR RUTA
Año 2016
(Cifras expresadas en Quetzales)

RECORRIDO		Kilómetros por recorrido	Costo de combustible por Km.	Costo de combustible por ruta
DE	A			
Carretera a Puerto Quetzal	Chimaltenango	132.5	2.656836461	352.0308311
	Palin	40	2.656836461	106.2734584
	San Cristóbal	98	2.656836461	260.3699732
	El Rancho	164	2.656836461	435.7211796
Zona 12	Chimaltenango	62.5	2.656836461	166.0522788
	Palin	30	2.656836461	79.70509383
	San Cristóbal	28	2.656836461	74.39142091
	El Rancho	94	2.656836461	249.7426273
Carretera al Atlántico	Chimaltenango	66.5	2.656836461	176.6796247
	Palin	54	2.656836461	143.4691689
	San Cristóbal	32	2.656836461	85.01876675
	El Rancho	70	2.656836461	185.9785523
Roosevelt	Chimaltenango	37.5	2.656836461	99.63136729
	Palin	25	2.656836461	66.42091153
	San Cristóbal	3	2.656836461	7.970509383
	El Rancho	99	2.656836461	263.0268096

Fuente: elaboración propia, con información proporcionada por la empresa

CUADRO 3
COSTO TOTAL POR RUTA
Año 2016
(Cifras expresadas en Quetzales)

RECORRIDO		Costo fijo	Costo variable	Costo total por ruta
DE	A			
Carretera a Puerto Quetzal	Chimaltenango	196.9384444	352.0308311	548.9692755
	Palin	196.9384444	106.2734584	303.2119029
	San Cristóbal	196.9384444	260.3699732	457.3084176
	El Rancho	196.9384444	435.7211796	632.659624
Zona 12	Chimaltenango	196.9384444	166.0522788	362.9907233
	Palin	196.9384444	79.70509383	276.6435383
	San Cristóbal	196.9384444	74.39142091	271.3298654
	El Rancho	196.9384444	249.7426273	446.6810718
Carretera al Atlántico	Chimaltenango	196.9384444	176.6796247	373.6180691
	Palin	196.9384444	143.4691689	340.4076133
	San Cristóbal	196.9384444	85.01876675	281.9572112
	El Rancho	196.9384444	185.9785523	382.9169967
Roosevelt	Chimaltenango	196.9384444	99.63136729	296.5698117
	Palin	196.9384444	66.42091153	263.359356
	San Cristóbal	196.9384444	7.970509383	204.9089538
	El Rancho	196.9384444	263.0268096	459.9652541
TOTALES		Q3,151.02	Q2,752.48	Q5,903.50

Fuente: elaboración propia, con información proporcionada por la empresa.

CUADRO 4
COSTOS UNITARIOS
POR QUINTAL TRANSPORTADO
Año 2016
(Cifras expresadas en Quetzales)

RECORRIDO		Costo total por ruta	Capacidad de plataformas	Costo por quintal
DE	A			
Carretera a Puerto Quetzal	Chimaltenango	548.9692755	500	Q1.10
	Palin	303.2119029	500	Q0.61
	San Cristóbal	457.3084176	500	Q0.91
	El Rancho	632.659624	500	Q1.27
Zona 12	Chimaltenango	362.9907233	500	Q0.73
	Palin	276.6435383	500	Q0.55
	San Cristóbal	271.3298654	500	Q0.54
	El Rancho	446.6810718	500	Q0.89
Carretera al Atlántico	Chimaltenango	373.6180691	500	Q0.75
	Palin	340.4076133	500	Q0.68
	San Cristóbal	281.9572112	500	Q0.56
	El Rancho	382.9169967	500	Q0.77
Roosevelt	Chimaltenango	296.5698117	500	Q0.59
	Palin	263.359356	500	Q0.53
	San Cristóbal	204.9089538	500	Q0.41
	El Rancho	459.9652541	500	Q0.92
TOTALES		Q5,903.50		

Fuente: elaboración propia, con información proporcionada por la empresa.

El cuadro anterior muestra los costos por cada quintal de hierro y/o perfiles que la empresa transporta de las bodegas a los clientes mayoristas. Es importante mencionar que los costos fueron trabajados con todos los decimales para que no existiera mayor diferencia, aproximando hasta el final a dos decimales.

CUADRO 5
OFERTA PROMEDIO DE CADA BODEGA DE LA DISTRIBUIDORA
Año 2016
(Cifras expresadas en quintales)

Bodega	Dirección	Oferta promedio total mensual	Oferta promedio total semanal
1	Carretera a Puerto Quetzal	10,000	2,500
2	42 calle zona 12	8,800	2,200
3	Carretera al Atlántico Km.14	9,200	2,300
4	Roosevelt Km. 15	9,200	2,300

Fuente: oferta promedio, información proporcionada por la empresa.

CUADRO 6
DEMANDA PROMEDIO DE LOS CLIENTES MAYORISTAS
DE LA DISTRIBUIDORA
Año 2016
(Cifras expresadas en quintales)

Cliente	Dirección	Demanda promedio total mensual	Demanda promedio total semanal
A	Chimaltenango, Km.52.5	8,000	2,000
B	Palín, Km. 40	9,200	2,300
C	San Cristóbal, zona 8 Mixco	7,600	1,900
D	Carr. Atlántico, El Rancho Km. 84	8,000	2,000

Fuente: demanda promedio, información proporcionada por la empresa.

CAPÍTULO III
APLICACIÓN DEL MODELO DE TRANSPORTE PARA DETERMINAR
EL PROGRAMA ÓPTIMO DE DISTRIBUCIÓN DE HIERRO Y PERFILES
EN UNA EMPRESA DISTRIBUIDORA

3.1 JUSTIFICACIÓN

La ausencia de un control de rutas, no permite que la empresa pueda determinar la distribución óptima hacia sus clientes, por lo tanto, es necesario implementar un modelo matemático que permita obtener un programa óptimo de distribución, con el cual se minimicen los costos de transporte, de sus bodegas a los clientes mayoristas.

3.2 APLICACIÓN

En el capítulo II se calcularon los datos que permiten construir la matriz de origen y destino, que permitirá aplicar el modelo de transporte y así obtener el programa óptimo de distribución, que permita minimizar los costos de transporte.

3.2.1 Planteamiento del problema

Objetivo: minimizar costos.

Variables: quintales de hierro y/o perfiles.

Restricciones: oferta y demanda.

OFERTA	
<u>Origen</u>	<u>Disponibilidad</u>
Carr. Pto Quetzal	2,500
42 calle zona 12	2,200
Carr. Atlántico Km.14	2,300
Roosevelt Km. 15	2,300
Total disponibilidad	9,300

DEMANDA

<u>Destino</u>	<u>Requerimiento</u>
San Cristóbal, Z.8 Mixco	2,000
Palín, Km. 40	2,300
Chimaltenango, Km. 52.5	1,900
Carr. Atlántico, El Rancho	2,000
* FX	1,100
Total requerimiento	9,300

Nota: debido a que la suma de la oferta y la demanda no eran homogéneas, fue necesario agregar un destino ficticio (columna).

3.2.2 Planteamiento de la función objetivo

$$\text{Minimizar } Z = 1.10X_{11} + 0.61X_{12} + 0.91X_{13} + 1.27X_{14} + 0X_{15} + 0.73X_{21} + 0.55X_{22} + 0.54X_{23} + 0.89X_{24} + 0X_{25} + 0.75X_{31} + 0.68X_{32} + 0.56X_{33} + 0.77X_{34} + 0X_{35} + 0.59X_{41} + 0.53X_{42} + 0.41X_{43} + 0.92X_{44} + 0X_{45}$$

3.2.3 Planteamiento de las restricciones

Oferta (origen)

$$1. X_{11} + X_{12} + X_{13} + X_{14} + X_{15} = 2,500$$

$$2. X_{21} + X_{22} + X_{23} + X_{24} + X_{25} = 2,200$$

$$3. X_{31} + X_{32} + X_{33} + X_{34} + X_{35} = 2,300$$

$$4. X_{41} + X_{42} + X_{43} + X_{44} + X_{45} = \underline{2,300}$$

$$9,300$$

Demanda (destino)

$$1. X_{11} + X_{21} + X_{31} + X_{41} = 2,000$$

$$2. X_{12} + X_{22} + X_{32} + X_{42} = 2,300$$

$$3. X_{13} + X_{23} + X_{33} + X_{43} = 1,900$$

$$4. X_{14} + X_{24} + X_{34} + X_{44} = 2,000$$

$$5. X_{15} + X_{25} + X_{35} + X_{45} = \underline{1,100}$$

$$9,300$$

3.2.4 Construcción de la matriz de transporte

Se presentan los datos de oferta de cada bodega (origen) y la demanda de cada uno de sus clientes (destino); los costos unitarios en los que la empresa incurre por cada quintal de hierro que se transporta se encuentran ubicados en la parte superior derecha de cada celda, los cuales fueron determinados en el cuadro 4; la oferta y demanda ubicadas en la última columna y fila, respectivamente, fueron extraídos de los cuadros 5 y 6.

CUADRO 7
MATRIZ DE ORIGEN Y DESTINO
CON COSTOS UNITARIOS DE TRANSPORTE
Año 2016
(En Quetzales)

A DE	CLIENTES MAYORISTAS					OFERTA
	Chimaltenango	Palín	San Cristóbal	El Rancho	F	
Carr. Puerto Quetzal	1.10	0.61	0.91	1.27	0	2,500
Zona 12	0.73	0.55	0.54	0.89	0	2,200
Carr. Al Atlántico	0.75	0.68	0.56	0.77	0	2,300
Roosevelt	0.59	0.53	0.41	0.92	0	2,300
DEMANDA	2,000	2,300	1,900	2,000	1,100	9,300 9,300

3.3 SOLUCIÓN

Para llevar a cabo la solución se desarrollarán los métodos de esquina nor-oeste, mínimo costo y la aproximación de vogel o multas; además, se realizará la aplicación de pasos secuenciales para determinar el programa óptimo de distribución real.

3.3.1 Método de transporte esquina nor-oeste

Se desarrolla este método iniciando la distribución en la fila y columna uno (2,000) y así sucesivamente hasta terminar con las unidades demandadas y ofertadas. Para su mejor comprensión, se numera el orden en que fueron asignadas.

**CUADRO 8
MÉTODO DE TRANSPORTE ESQUINA NOR-OESTE**

A DE	CLIENTES MAYORISTAS										OFERTA	OFERTA	OFERTA	OFERTA	OFERTA	OFERTA	OFERTA	OFERTA	OFERTA	
	Chimaltenango		Palín		San Cristóbal		El Rancho		F											
Carr. Puerto Quetzal	(1)	1.10	(2)	0.61		0.91		1.27		0	2,500	500	0	0	0	0	0	0	0	
	2,000		500		X		X		X											
Zona 12		0.73	(3)	0.55	(4)	0.54		0.89		0	2,200	2,200	2,200	400	0	0	0	0	0	
	X		1,800		400		X		X											
Carr. Al Atlántico		0.75		0.68	(5)	0.56	(6)	0.77		0	2,300	2,300	2,300	2,300	2,300	800	0	0	0	
	X		X		1,500		800		X											
Roosevelt		0.59		0.53		0.41	(7)	0.92	(8)	0	2,300	2,300	2,300	2,300	2,300	2,300	2,300	2,300	1,100	0
	X		X		X		1,200		1,100											
DEMANDA	2,000		2,300		1,900		2,000		1,100		9,300									
DEMANDA	0		2,300		1,900		2,000		1,100											
DEMANDA	0		1,800		1,900		2,000		1,100											
DEMANDA	0		0		1,900		2,000		1,100											
DEMANDA	0		0		1,500		2,000		1,100											
DEMANDA	0		0		0		2,000		1,100											
DEMANDA	0		0		0		1,200		1,100											
DEMANDA	0		0		0		0		1,100											
DEMANDA	0		0		0		0		0											

CUADRO 9
PROGRAMA DE DISTRIBUCIÓN FACTIBLE
MÉTODO DE TRANSPORTE ESQUINA NOR-OESTE

Origen	Destino	Unidades (quintales)	Costo Unitario	Costo Total
Carr. Puerto Quetzal	Chimaltenango	2,000	Q1.10	Q2,200.00
Carr. Puerto Quetzal	Palín	500	Q0.61	Q305.00
Zona 12	Palín	1,800	Q0.55	Q990.00
Zona 12	San Cristóbal	400	Q0.54	Q216.00
Carr. Atlántico	San Cristóbal	1,500	Q0.56	Q840.00
Carr. Atlántico	El Rancho	800	Q0.77	Q616.00
Roosevelt	El Rancho	1,200	Q0.92	Q1,104.00
Roosevelt	F	1,100	Q0.00	Q0.00
TOTAL		9,300		Q6,271.00

Fuente: unidades extraídas del cuadro 8 y costos unitarios del cuadro 4.

El costo de transporte por medio del método de esquina nor-oeste es de **Q 6,271.00** semanal.

3.3.2 Método de transporte mínimo costo

Para el desarrollo de este método se comienza distribuyendo los quintales desde los costos más bajos de manera ascendente, hasta agotar la demanda y la oferta. Se numera el orden para su mejor comprensión.

**CUADRO 10
MÉTODO DE TRANSPORTE MÍNIMO COSTO**

A DE	CLIENTES MAYORISTAS					OFERTA	OFERTA	OFERTA	OFERTA	OFERTA	OFERTA	OFERTA	OFERTA	OFERTA
	Chimaltenango	Palín	San Cristóbal	El Rancho	F									
Carr. Puerto Quetzal	1.10	0.61	0.91	(7) 1.27	(8) 0	2,500	2,500	2,500	2,500	2,500	2,500	2,500	1,100	0
	X	X	X	1,400	1,100									
Zona 12	(4) 0.73	(3) 0.55	0.54	0.89	0	2,200	2,200	2,200	300	0	0	0	0	0
	300	1,900	X	X	X									
Carr. Al Atlántico	(5) 0.75	0.68	0.56	(6) 0.77	0	2,300	2,300	2,300	2,300	2,300	600	0	0	0
	1,700	X	X	600	X									
Roosevelt	0.59	(2) 0.53	(1) 0.41	0.92	0	2,300	400	0	0	0	0	0	0	0
	X	400	1,900	X	X									
DEMANDA	2,000	2,300	1,900	2,000	1,100	9,300								
DEMANDA	2,000	2,300	0	2,000	1,100									
DEMANDA	2,000	1,900	0	2,000	1,100									
DEMANDA	2,000	0	0	2,000	1,100									
DEMANDA	1,700	0	0	2,000	1,100									
DEMANDA	0	0	0	2,000	1,100									
DEMANDA	0	0	0	1,400	1,100									
DEMANDA	0	0	0	0	1,100									
DEMANDA	0	0	0	0	0									

CUADRO 11
PROGRAMA DE DISTRIBUCIÓN FACTIBLE
MÉTODO DE TRANSPORTE MÍNIMO COSTO

Origen	Destino	Unidades (quintales)	Costo Unitario	Costo Total
Roosevelt	San Cristóbal	1,900	Q0.41	Q779.00
Roosevelt	Palín	400	Q0.53	Q212.00
Zona 12	Palín	1,900	Q0.55	Q1,045.00
Zona 12	Chimaltenango	300	Q0.73	Q219.00
Carr. Atlántico	Chimaltenango	1,700	Q0.75	Q1,275.00
Carr. Atlántico	El Rancho	600	Q0.77	Q462.00
Carr. Puerto Quetzal	El Rancho	1,400	Q1.27	Q1,778.00
Carr. Puerto Quetzal	F	1,100	Q0.00	Q0.00
TOTAL		9,300		Q5,770.00

Fuente: unidades extraídas del cuadro 10 y costos unitarios del cuadro 4.

El costo de transporte por medio del método de mínimo costo es de **Q 5,770.00** semanal.

3.3.3 Método de transporte aproximación de vogel o multas

Para la aplicación de este método se determinan multas (diferencia entre los costos más bajos) tanto de las filas como de las columnas, y se asignan de acuerdo a la multa más alta entre ambas; se numera el orden de asignación para su mejor comprensión.

CUADRO 12
MÉTODO DE TRANSPORTE APROXIMACIÓN DE VOGEL O MULTAS

A DE	CLIENTES MAYORISTAS					OFERTA	M1	Oferta	M2	Oferta	M3	Oferta	M4	Oferta	M5	Oferta
	Chimaltenango	Palín	San Cristóbal	El Rancho	F											
Carr. Puerto Quetzal	1.10	(1) 0.61	0.91	1.27	(5) 0	2,500	0.30	200	0.19	200	0.17	200	0.00	200	0	0
	X	2,300	X	X	200											
Zona 12	0.73	(2) 0.55	0.54	0.89	(6) 0	2,200	0.01	2,200	0.19	300	0.16	300	0.00	300	0	0
	X	X	1,900	X	300											
Carr. Al Atlántico	0.75	0.68	0.56	(4) 0.77	(7) 0	2,300	0.12	2,300	0.19	2,300	0.02	2,300	0.00	300	0	0
	X	X	X	2,000	300											
Roosevelt	(3) 0.59	0.53	0.41	0.92	(8) 0	2,300	0.12	2,300	0.18	2,300	0.33	300	0.00	300	0	0
	2,000	X	X	X	300											
DEMANDA	2,000	2,300	1,900	2,000	1,100	9,300		9,300								
M1	0.14	0.02	0.13	0.12	0											
Demanda	2,000	0	1,900	2,000	1,100											
M2	0.14	0	0.13	0.12	0											
Demanda	2,000	0	0	2,000	1,100											
M3	0.14	0	0	0.12	0											
Demanda	0	0	0	2,000	1,100											
M4	0.00	0	0	0.12	0											
Demanda	0	0	0	0	1,100											
M5	0	0	0	0	0											
Demanda	0	0	0	0	0											

CUADRO 13
PROGRAMA DE DISTRIBUCIÓN FACTIBLE
MÉTODO DE TRANSPORTE APROXIMACIÓN DE VOGEL

Origen	Destino	Unidades (quintales)	Costo Unitario	Costo Total
Carr. Puerto Quetzal	Palín	2,300	Q0.61	Q1,403.00
Zona 12	San Cristóbal	1,900	Q0.54	Q1,026.00
Roosevelt	Chimaltenango	2,000	Q0.59	Q1,180.00
Carr. Atlántico	El Rancho	2,000	Q0.77	Q1,540.00
Carr. Puerto Quetzal	F	200	Q0.00	Q0.00
Zona 12	F	300	Q0.00	Q0.00
Carr. Atlántico	F	300	Q0.00	Q0.00
Roosevelt	F	300	Q0.00	Q0.00
TOTAL		9,300		Q5,149.00

Fuente: unidades extraídas del cuadro 12 y costos unitarios del cuadro 4.

El costo de transporte por medio del método de aproximación de Vogel es de **Q 5,149.00** semanal.

CUADRO 14
COMPARACIÓN DE COSTOS
DE LOS TRES MÉTODOS DE TRANSPORTE

MÉTODO	COSTO
Esquina nor-oeste	Q 6,271.00
Mínimo costo	Q 5,770.00
Aproximación de vogel	Q 5,149.00

3.3.4 Método de multiplicadores (pasos secuenciales)

La evaluación se aplicará al programa de distribución proporcionado por el método de vogel.

CUADRO 15
MATRIZ PARA EL CÁLCULO DE COSTOS MARGINALES

A DE	CLIENTES MAYORISTAS					OFERTA
	Chimaltenango	Palín	San Cristóbal	El Rancho	F	
Carr. Puerto Quetzal	1.10	0.61	0.91	1.27	0	2,500
Zona 12	0.73	0.55	0.54	0.89	0	2,200
Carr. Al Atlántico	0.75	0.68	0.56	0.77	0	2,300
Roosevelt	0.59	0.53	0.41	0.92	0	2,300
DEMANDA	2,000	2,300	1,900	2,000	1,100	9,300

Costo marginal para la celda a_{11}

+	1.10	0.61	0.91	1.27	-	0
Inicio	2,300					200
	0.73	0.55	0.54	0.89		0
			1,900			300
	0.75	0.68	0.56	0.77		0
				2,000		300
-	0.59	0.53	0.41	0.92	+	0
	2,000					300

$$a_{11} = 1.10 - 0 + 0 - 0.59 = 0.51$$

Costo marginal para la celda a_{13}

	1.10	0.61	+ 0.91	1.27	- 0
		2,300	Inicio		200
	0.73	0.55	- 0.54	0.89	+ 0
			1,900		300
	0.75	0.68	0.56	0.77	0
			2,000		300
	0.59	0.53	0.41	0.92	0
2,000					300

$$a_{13} = 0.91 - 0 + 0 - 0.54 = 0.37$$

Costo marginal para la celda a_{14}

	1.10	0.61	0.91	+ 1.27	- 0
		2,300		Inicio	200
	0.73	0.55	0.54	0.89	0
			1,900		300
	0.75	0.68	0.56	- 0.77	+ 0
				2,000	300
	0.59	0.53	0.41	0.92	0
2,000					300

$$a_{14} = 1.27 - 0 + 0 - 0.77 = 0.5$$

Costo marginal para la celda a_{21}

	1.10	0.61	0.91	1.27	0
		2,300			200
+	0.73	0.55	0.54	0.89	- 0
Inicio			1,900		300
	0.75	0.68	0.56	0.77	0
			2,000		300
-	0.59	0.53	0.41	0.92	+ 0
					300
2,000					

$$a_{21} = 0.73 - 0 + 0 - 0.59 = 0.14$$

Costo marginal para la celda a₂₂

1.10	-	0.61	0.91	1.27	+	0
						200
0.73	+	0.55	0.54	0.89		0
						- 300
0.75		0.68	0.56	0.77		0
				2,000		300
0.59		0.53	0.41	0.92		0
2,000						300

$$a_{22} = 0.55 - 0.61 + 0 - 0 = -0.06$$

Costo marginal para la celda a₂₄

1.10		0.61	0.91	1.27		0
		2,300				200
0.73		0.55	0.54	+	0.89	-
						0
			1,900		Inicio	300
0.75		0.68	0.56	-	0.77	+
						0
				2,000		300
0.59		0.53	0.41	0.92		0
2,000						300

$$a_{24} = 0.89 - 0 + 0 - 0.77 = 0.12$$

Costo marginal para la celda a₃₁

1.10		0.61	0.91	1.27		0
		2,300				200
0.73		0.55	0.54	0.89		0
			1,900			300
+	0.75	0.68	0.56	0.77	-	0
				2,000		300
Inicio						
-	0.59	0.53	0.41	0.92		+
						0
						300

$$a_{31} = 0.75 - 0 + 0 - 0.59 = 0.16$$

Costo marginal para la celda a₃₂

1.10	-	0.61	0.91	1.27	+	0
						200
0.73		0.55	0.54	0.89		0
			1,900			300
0.75		0.68	0.56	0.77		0
						300
0.59		0.53	0.41	0.92		0
2,000						300

Diagram description: A 4x7 grid with numerical values and signs. Blue arrows show a path: up from (1,2) to (1,1), right from (1,1) to (1,6), down from (1,6) to (2,6), left from (2,6) to (2,3), down from (2,3) to (3,3), right from (3,3) to (3,6), down from (3,6) to (4,6), left from (4,6) to (4,2), and up from (4,2) to (4,1). The word 'Inicio' is placed at (3,2).

$$a_{32} = 0.68 - 0.61 + 0 - 0 = 0.07$$

Costo marginal para la celda a₃₃

1.10		0.61	0.91	1.27		0	
		2,300				200	
0.73		0.55	-	0.54	0.89	+	0
				1,900			300
0.75		0.68		0.56	0.77		0
							300
0.59		0.53	0.41	0.92		0	
2,000						300	

Diagram description: A 4x7 grid with numerical values and signs. Blue arrows show a path: up from (3,2) to (3,1), right from (3,1) to (3,6), down from (3,6) to (4,6), left from (4,6) to (4,3), up from (4,3) to (4,2), and right from (4,2) to (4,6). The word 'Inicio' is placed at (4,2).

$$a_{33} = 0.56 - 0.54 + 0 - 0 = 0.02$$

Costo marginal para la celda a₄₂

1.10	-	0.61	0.91	1.27	+	0
						200
0.73		0.55	0.54	0.89		0
			1,900			300
0.75		0.68	0.56	0.77		0
						300
0.59		0.53	0.41	0.92		0
2,000						300

Diagram description: A 4x7 grid with numerical values and signs. Blue arrows show a path: up from (4,2) to (4,1), right from (4,1) to (4,6), down from (4,6) to (3,6), left from (3,6) to (3,3), up from (3,3) to (3,2), and right from (3,2) to (3,6). The word 'Inicio' is placed at (4,2).

$$a_{42} = 0.53 - 0.61 + 0 - 0 = -0.08$$

Costo marginal para la celda a_{43}

1.10	0.61	0.91	1.27	0
2,300				200
0.73	0.55	- 0.54	0.89	+ 0
		1,900		300
0.75	0.68	0.56	0.77	0
			2,000	300
0.59	0.53	+ 0.41	0.92	- 0
2,000		+ Inicio		300

$$a_{43} = 0.41 - 0.54 + 0 - 0 = -0.13$$

Costo marginal para la celda a_{44}

1.10	0.61	0.91	1.27	0
2,300				200
0.73	0.55	0.54	0.89	0
		1,900		300
0.75	0.68	0.56	- 0.77	+ 0
			2,000	300
0.59	0.53	0.41	0.92	- 0
2,000			+ Inicio	300

$$a_{44} = 0.92 - 0.77 + 0 - 0 = 0.15$$

Costos marginales

$$a_{11} = 1.10 - 0 + 0 - 0.59 = 0.51$$

$$a_{13} = 0.91 - 0 + 0 - 0.54 = 0.37$$

$$a_{14} = 1.27 - 0 + 0 - 0.77 = 0.5$$

$$a_{21} = 0.73 - 0 + 0 - 0.59 = 0.14$$

$$a_{22} = 0.55 - 0.61 + 0 - 0 = -0.06$$

$$a_{24} = 0.89 - 0 + 0 - 0.77 = 0.12$$

$$a_{31} = 0.75 - 0 + 0 - 0.59 = 0.16$$

$$a_{32} = 0.68 - 0.61 + 0 - 0 = 0.07$$

$$a_{33} = 0.56 - 0.54 + 0 - 0 = 0.02$$

$$a_{42} = 0.53 - 0.61 + 0 - 0 = -0.08$$

$$a_{43} = 0.41 - 0.54 + 0 - 0 = -0.13$$

$$a_{44} = 0.92 - 0.77 + 0 - 0 = 0.15$$

Se encontraron tres costos marginales negativos, lo cual indica que el programa efectuado no es el óptimo y que aún es posible disminuir el costo total de transporte; para lo cual se hace una redistribución de unidades, tomando como base el ciclo que dio el costo marginal menor, en este caso es la celda a_{43} que es igual a -0.13 ; luego se determina la cantidad de unidades que pueden ser asignadas a dicha celda, se comparan las cantidades asignadas en las celdas con (-1) y la cantidad menor es la que se debe redistribuir, en el ciclo determinado, en este caso son 300 quintales, se reajustan las asignaciones en las celdas involucradas y se copian los datos de las celdas que no fueron modificadas, teniéndose como resultado:

CUADRO 16
MATRIZ DE REDISTRIBUCIÓN
DE QUINTALES DE HIERRO Y/O PERFILES (1)

A DE	CLIENTES MAYORISTAS					OFERTA
	Chimaltenango	Palín	San Cristóbal	El Rancho	F	
Carr. Puerto Quetzal	1.10	0.61	0.91	1.27	0	2,500
		2,300			200	
Zona 12	0.73	0.55	0.54	0.89	0	2,200
			1,600		600	
Carr. Al Atlántico	0.75	0.68	0.56	0.77	0	2,300
				2,000	300	
Roosevelt	0.59	0.53	0.41	0.92	0	2,300
	2,000		300			
DEMANDA	2,000	2,300	1,900	2,000	1,100	9,300
						9,300

Luego de haber reasignado, se procede a obtener nuevamente los costos marginales de las celdas vacías.

Costo marginal para la celda a_{11}

+	1.10	0.61	0.91	1.27	-	0
Inicio	2,300					200
	0.73	0.55	- 0.54	0.89		+ 600
	0.75	0.68	0.56	0.77		0
	0.59	0.53	0.41	0.92	2,000	300
	- 2,000		+ 300			

$$a_{11} = 1.10 - 0 + 0 - 0.54 + 0.41 - 0.59 = 0.38$$

Costo marginal para la celda a_{13}

	1.10	0.61	+ 0.91	1.27	-	0
	2,300					200
	0.73	0.55	- 0.54	0.89		+ 600
	0.75	0.68	0.56	0.77		0
	0.59	0.53	0.41	0.92	2,000	300
	2,000		300			

$$a_{13} = 0.91 - 0 + 0 - 0.54 = 0.37$$

Costo marginal para la celda a_{14}

1.10	0.61	0.91	+	1.27	-	0
	2,300			Inicio		200
0.73	0.55	0.54				0
		1,600				600
0.75	0.68	0.56				0
						+
			-	2,000		300
0.59	0.53	0.41				0
2,000		300				

$$a_{14} = 1.27 - 0 + 0 - 0.77 = 0.5$$

Costo marginal para la celda a_{21}

1.10	0.61	0.91		1.27		0
	2,300					200
+	0.73	0.55	-	0.54		0
Inicio						600
		1,600				
	0.75	0.68		0.56		0
						2,000
						300
	0.59	0.53		0.41		0
						+
						300
2,000						

$$a_{21} = 0.73 - 0.54 + 0.41 - 0.59 = 0.01$$

Costo marginal para la celda a_{22}

1.10	-	0.61		0.91		1.27	+	0
		2,300						200
0.73		0.55		0.54		0.89		0
								600
				1,600				
	0.75	0.68		0.56		0.77		0
								2,000
								300
	0.59	0.53		0.41		0.92		0
2,000				300				

$$a_{22} = 0.55 - 0.61 + 0 - 0 = -0.06$$

Costo marginal para la celda a₂₄

1.10	0.61	0.91	1.27	0
2,300			200	
0.73	0.55	0.54	+ 0.89	- 0
1,600			Inicio	600
0.75	0.68	0.56	0.77	0
			- 2,000	+ 300
0.59	0.53	0.41	0.92	0
2,000	300			

$$a_{24} = 0.89 - 0 + 0 - 0.77 = 0.12$$

Costo marginal para la celda a₃₁

1.10	0.61	0.91	1.27	0
2,300			200	
0.73	0.55	- 0.54	0.89	+ 0
1,600			600	Inicio
+ 0.75	0.68	0.56	0.77	0
Inicio	2,000			- 300
0.59	0.53	0.41	0.92	0
2,000	300			

$$a_{31} = 0.75 - 0 + 0 - 0.54 + 0.41 - 0.59 = 0.03$$

Costo marginal para la celda a₃₂

1.10	- 0.61	0.91	1.27	+ 0
2,300			200	
0.73	0.55	0.54	0.89	0
1,600			600	Inicio
0.75	0.68	0.56	0.77	0
+ Inicio			2,000	- 300
0.59	0.53	0.41	0.92	0
2,000	300			

$$a_{32} = 0.68 - 0.61 + 0 - 0 = 0.07$$

Costo marginal para la celda a₃₃

1.10	0.61	0.91	1.27	0
2,300				200
0.73	0.55	- 0.54	0.89	+ 0
		↑ 1,600		↓ 600
0.75	0.68	+ 0.56	0.77	- 0
		Inicio	← 2,000	→ 300
0.59	0.53	0.41	0.92	0
2,000		300		

$$a_{33} = 0.56 - 0.54 + 0 - 0 = 0.02$$

Costo marginal para la celda a₄₂

1.10	- 0.61	0.91	1.27	+ 0
2,300				200
0.73	0.55	+ 0.54	0.89	- 0
		↓ 1,600		↑ 600
0.75	0.68	0.56	0.77	0
			2,000	300
0.59	+ 0.53	- 0.41	0.92	0
2,000	Inicio	← 300		

$$a_{42} = 0.53 - 0.61 + 0 - 0 + 0.54 - 0.41 = 0.05$$

Costo marginal para la celda a₄₄

1.10	0.61	0.91	1.27	0
2,300				200
0.73	0.55	+ 0.54	0.89	- 0
		↑ 1,600		↓ 600
0.75	0.68	0.56	- 0.77	0
			2,000	+ 300
0.59	0.53	0.41	+ 0.92	0
2,000		300	Inicio	

$$a_{44} = 0.92 - 0.41 + 0.54 - 0 + 0 - 0.77 = 0.28$$

Costo marginal para la celda a_{45}

1.10	0.61	0.91	1.27	0
2,300				200
0.73	0.55	+ 0.54	0.89	- 0
		1,600		600
0.75	0.68	0.56	0.77	0
			2,000	300
0.59	0.53	0.41	0.92	+ 0
2,000		300		Inicio

$$a_{45} = 0 - 0.41 + 0.54 - 0 = 0.13$$

Costos marginales

$$a_{11} = 1.10 - 0 + 0 - 0.54 + 0.41 - 0.59 = 0.38$$

$$a_{13} = 0.91 - 0 + 0 - 0.54 = 0.37$$

$$a_{14} = 1.27 - 0 + 0 - 0.77 = 0.5$$

$$a_{21} = 0.73 - 0.54 + 0.41 - 0.59 = 0.01$$

$$\mathbf{a_{22} = 0.55 - 0.61 + 0 - 0 = -0.06}$$

$$a_{24} = 0.89 - 0 + 0 - 0.77 = 0.12$$

$$a_{31} = 0.75 - 0 + 0 - 0.54 + 0.41 - 0.59 = 0.03$$

$$a_{32} = 0.68 - 0.61 + 0 - 0 = 0.07$$

$$a_{33} = 0.56 - 0.54 + 0 - 0 = 0.02$$

$$a_{42} = 0.53 - 0.61 + 0 - 0 + 0.54 - 0.41 = 0.05$$

$$a_{44} = 0.92 - 0.41 + 0.54 - 0 + 0 - 0.77 = 0.28$$

$$a_{45} = 0 - 0.41 + 0.54 - 0 = 0.13$$

Hay un costo marginal negativo, por tanto, el costo de transporte aún se puede reducir; para lo cual se hace una nueva redistribución de quintales, tomando el ciclo del menor costo el que corresponde a la celda a_{22} que es igual a **-0.06**; se comparan las cantidades asignadas en las celdas con (-1) y la cantidad menor es

la que se redistribuye, siendo en este caso 600 quintales, se ajustan las celdas involucradas y se copian los datos de las que no fueron modificadas, teniéndose como resultado:

**CUADRO 17
MATRIZ DE REDISTRIBUCIÓN
DE QUINTALES DE HIERRO Y/O PERFILES (2)**

A DE	CLIENTES MAYORISTAS					OFERTA
	Chimaltenango	Palín	San Cristóbal	El Rancho	F	
Carr. Puerto Quetzal	1.10	0.61	0.91	1.27	0	2,500
		1,700			800	
Zona 12	0.73	0.55	0.54	0.89	0	2,200
		600	1,600			
Carr. Al Atlántico	0.75	0.68	0.56	0.77	0	2,300
				2,000	300	
Roosevelt	0.59	0.53	0.41	0.92	0	2,300
	2,000		300			
DEMANDA	2,000	2,300	1,900	2,000	1,100	9,300 9,300

Costo marginal para la celda a₁₁

+	1.10	-	0.61		0.91		1.27		0
Inicio			1,700						800
	0.73	+	0.55	-	0.54		0.89		0
			600		1,600				
	0.75		0.68		0.56		0.77		0
							2,000		300
	0.59		0.53	+	0.41		0.92		0
	2,000				300				

$$a_{11} = 1.10 - 0.61 + 0.55 - 0.54 + 0.41 - 0.59 = 0.32$$

Costo marginal para la celda a_{13}

	1.10	-	0.61	+	0.91		1.27		0
			1,700		Inicio				800
	0.73	+	0.55		0.54		0.89		0
			600		1,600				
	0.75		0.68		0.56		0.77		0
							2,000		300
	0.59		0.53		0.41		0.92		0
	2,000				300				

$$a_{13} = 0.91 - 0.54 + 0.55 - 0.61 = 0.31$$

Costo marginal para la celda a_{14}

	1.10		0.61		0.91	+	1.27	-	0
			1,700				Inicio		800
	0.73		0.55		0.54		0.89		0
			600		1,600				
	0.75		0.68		0.56		0.77		0
							2,000		300
	0.59		0.53		0.41		0.92		0
	2,000				300				

$$a_{14} = 1.27 - 0 + 9 - 0.77 = 0.5$$

Costo marginal para la celda a_{21}

	1.10		0.61		0.91		1.27		0
			1,700						800
+	0.73		0.55	-	0.54		0.89		0
			600		1,600				
	0.75		0.68		0.56		0.77		0
							2,000		300
	0.59		0.53		0.41		0.92		0
	2,000				300				

$$a_{21} = 0.73 - 0.54 + 0.41 - 0.59 = 0.01$$

Costo marginal para la celda a₂₄

1.10	+	0.61	0.91	1.27	-	0
		1,700				800
0.73		0.55	0.54	+	0.89	0
		600	1,600	Inicio		
0.75		0.68	0.56	-	0.77	0
					2,000	300
0.59		0.53	0.41	0.92		0
2,000			300			

$$a_{24} = 0.89 - 0.77 + 0 - 0 + 0.61 - 0.55 = 0.18$$

Costo marginal para la celda a₂₅

1.10	+	0.61	0.91	1.27	-	0
		1,700				800
0.73		0.55	0.54	0.89	+	0
		600	1,600	Inicio		
0.75		0.68	0.56	0.77		0
				2,000	300	
0.59		0.53	0.41	0.92		0
2,000			300			

$$a_{25} = 0 - 0 + 0.61 - 0.55 = 0.06$$

Costo marginal para la celda a₃₁

1.10	-	0.61	0.91	1.27	+	0
		1,700				800
0.73		0.55	-	0.54	0.89	0
		600	1,600			
+	0.75	0.68	0.56	0.77		0
Inicio				2,000	300	
	0.59	0.53	0.41	0.92		0
			+	300		
2,000						

$$a_{31} = 0.75 - 0 + 0 - 0.61 + 0.55 - 0.54 + 0.41 - 0.59 = -0.03$$

Costo marginal para la celda a_{32}

1.10	-	0.61	0.91	1.27	+	0
						800
		1,700				
0.73		0.55	0.54	0.89		0
		600	1,600			
0.75	+	0.68	0.56	0.77		0
						-
		Inicio		2,000		300
0.59		0.53	0.41	0.92		0
2,000			300			

$$a_{32} = 0.68 - 0.61 + 0 - 0 = 0.07$$

Costo marginal para la celda a_{33}

1.10	-	0.61	0.91	1.27	+	0
						800
		1,700				
0.73		0.55	-	0.54		0
		600	1,600			
0.75		0.68	0.56	0.77		0
						-
		Inicio		2,000		300
0.59		0.53	0.41	0.92		0
2,000			300			

$$a_{33} = 0.56 - 0.54 + 0.55 - 0.61 + 0 - 0 = -0.04$$

Costo marginal para la celda a_{42}

1.10		0.61	0.91	1.27		0
						800
		1,700				
0.73	-	0.55	+	0.54		0
		600	1,600			
0.75		0.68	0.56	0.77		0
						2,000
						300
0.59	+	0.53	-	0.41		0
2,000						
		Inicio				300

$$a_{42} = 0.53 - 0.55 + 0.54 - 0.41 = 0.11$$

$$a_{33} = 0.56 - 0.54 + 0.55 - 0.61 + 0 - 0 = -0.04$$

$$a_{42} = 0.53 - 0.55 + 0.54 - 0.41 = 0.11$$

$$a_{44} = 0.92 - 0.41 + 0.54 - 0.55 + 0.61 - 0 + 0 - 0.77 = 0.34$$

$$a_{45} = 0 - 0.41 + 0.54 - 0.55 + 0.61 - 0 = 0.19$$

Aún hay un costo negativo, por lo que debe realizarse una nueva redistribución de quintales, siendo el ciclo de la celda a_{33} con el costo de **-0.04**; se comparan las cantidades asignadas con (-1) y se determina que los quintales a ser redistribuidos son 300, se ajustan las cantidades involucradas en el ciclo y se copian las que no, teniendo como resultado:

**CUADRO 18
MATRIZ DE REDISTRIBUCIÓN
DE QUINTALES DE HIERRO Y/O PERFILES (3)**

A DE	CLIENTES MAYORISTAS					OFERTA
	Chimaltenango	Palín	San Cristóbal	El Rancho	F	
Carr. Puerto Quetzal	1.10	0.61	0.91	1.27	0	2,500
		1,400			1,100	
Zona 12	0.73	0.55	0.54	0.89	0	2,200
		900	1,300			
Carr. Al Atlántico	0.75	0.68	0.56	0.77	0	2,300
			300	2,000		
Roosevelt	0.59	0.53	0.41	0.92	0	2,300
	2,000		300			
DEMANDA	2,000	2,300	1,900	2,000	1,100	9,300 9,300

Costo marginal para la celda a₁₁

+	1.10	-	0.61		0.91		1.27		0
	Inicio		1,400						1,100
	0.73		+	0.55	-	0.54		0.89	0
			900		1,300				
	0.75		0.68		0.56		0.77		0
					300		2,000		
	0.59		0.53		0.41		0.92		0
					+	300			

$$a_{11} = 1.10 - 0.61 + 0.55 - 0.54 + 0.41 - 0.59 = 0.32$$

Costo marginal para la celda a₁₃

	1.10	-	0.61	+	0.91		1.27		0
			1,400		Inicio				1,100
	0.73		+	0.55	-	0.54		0.89	0
			900		1,300				
	0.75		0.68		0.56		0.77		0
					300		2,000		
	0.59		0.53		0.41		0.92		0
	2,000				300				

$$a_{13} = 0.91 - 0.54 + 0.55 - 0.61 = 0.31$$

Costo marginal para la celda a₁₄

	1.10	-	0.61		0.91	+	1.27		0
			1,400				Inicio		1,100
	0.73		+	0.55	-	0.54		0.89	0
			900		1,300				
	0.75		0.68		0.56		0.77		0
					300		2,000		
	0.59		0.53		0.41		0.92		0
	2,000				300				

$$a_{14} = 1.27 - 0.77 + 0.56 - 0.54 + 0.55 - 0.61 = 0.46$$

Costo marginal para la celda a_{21}

	1.10	0.61	0.91	1.27	0
	1,400			1,100	
+	0.73	0.55	- 0.54	0.89	0
Inicio	900		1,300		
	0.75	0.68	0.56	0.77	0
			300	2,000	
-	0.59	0.53	0.41	0.92	0
	2,000		300		

$$a_{21} = 0.73 - 0.54 + 0.41 - 0.59 = 0.01$$

Costo marginal para la celda a_{24}

	1.10	0.61	0.91	1.27	0
	1,400			1,100	
	0.73	0.55	- 0.54	+ 0.89	0
	900		1,300		
	0.75	0.68	0.56	0.77	0
			300	2,000	
	0.59	0.53	0.41	0.92	0
2,000			300		

$$a_{24} = 0.89 - 0.77 + 0.56 - 0.54 = 0.14$$

Costo marginal para la celda a_{25}

	1.10	+ 0.61	0.91	1.27	- 0
	1,400			1,100	
	0.73	0.55	0.54	0.89	+ 0
	900		1,300		
	0.75	0.68	0.56	0.77	0
			300	2,000	
	0.59	0.53	0.41	0.92	0
2,000			300		

$$a_{25} = 0 - 0.55 + 0.61 - 0 = 0.06$$

Costo marginal para la celda a_{31}

	1.10	0.61	0.91	1.27	0
	1,400			1,100	
	0.73	0.55	0.54	0.89	0
	900		1,300		
+	0.75	0.68	- 0.56	0.77	0
Inicio	300			2,000	
-	0.59	0.53	0.41	0.92	0
	2,000		+ 300		

$$a_{31} = 0.75 - 0.56 + 0.41 - 0.59 = 0.01$$

Costo marginal para la celda a_{32}

	1.10	0.61	0.91	1.27	0
	1,400			1,100	
	0.73	- 0.55	+ 0.54	0.89	0
	900		1,300		
	0.75	+ 0.68	- 0.56	0.77	0
Inicio	300			2,000	
	0.59	0.53	0.41	0.92	0
2,000			300		

$$a_{32} = 0.68 - 0.55 + 0.54 - 0.56 = 0.11$$

Costo marginal para la celda a_{35}

	1.10	+ 0.61	0.91	1.27	- 0
	1,400			1,100	
	0.73	0.55	+ 0.54	0.89	0
	900		1,300		
	0.75	0.68	0.56	0.77	+ 0
Inicio	300			2,000	
	0.59	0.53	0.41	0.92	0
2,000			300		

$$a_{35} = 0 - 0.56 + 0.54 - 0.55 + 0.61 - 0 = 0.04$$

Costo marginal para la celda a₄₂

1.10	0.61	0.91	1.27	0
	1,400			1,100
0.73	- 0.55	+ 0.54	0.89	0
	900	1,300		
0.75	0.68	0.56	0.77	0
		300	2,000	
0.59	+ 0.53	- 0.41	0.92	0
2,000	Inicio	300		

$$a_{42} = 0.53 - 0.55 + 0.54 - 0.41 = 0.11$$

Costo marginal para la celda a₄₄

1.10	0.61	0.91	1.27	0
	1,400			1,100
0.73	0.55	0.54	0.89	0
	900	1,300		
0.75	0.68	+ 0.56	- 0.77	0
		300	2,000	
0.59	0.53	0.41	+ 0.92	0
2,000		300	Inicio	

$$a_{44} = 0.92 - 0.41 + 0.56 - 0.77 = 0.3$$

Costo marginal para la celda a₄₅

1.10	+ 0.61	0.91	1.27	- 0
	1,400			1,100
0.73	0.55	+ 0.54	0.89	0
	900	1,300		
0.75	0.68	0.56	0.77	0
		300	2,000	
0.59	0.53	0.41	0.92	+ 0
2,000		300	Inicio	

$$a_{45} = 0 - 0.41 + 0.54 - 0.55 + 0.61 - 0 = 0.19$$

Costos marginales

$$a_{11} = 1.10 - 0.61 + 0.55 - 0.54 + 0.41 - 0.59 = 0.32$$

$$a_{13} = 0.91 - 0.54 + 0.55 - 0.61 = 0.31$$

$$a_{14} = 1.27 - 0.77 + 0.56 - 0.54 + 0.55 - 0.61 = 0.46$$

$$a_{21} = 0.73 - 0.54 + 0.41 - 0.59 = 0.01$$

$$a_{24} = 0.89 - 0.77 + 0.56 - 0.54 = 0.14$$

$$a_{25} = 0 - 0.55 + 0.61 - 0 = 0.06$$

$$a_{31} = 0.75 - 0.56 + 0.41 - 0.59 = 0.01$$

$$a_{32} = 0.68 - 0.55 + 0.54 - 0.56 = 0.11$$

$$a_{35} = 0 - 0.56 + 0.54 - 0.55 + 0.61 - 0 = 0.04$$

$$a_{42} = 0.53 - 0.55 + 0.54 - 0.41 = 0.11$$

$$a_{44} = 0.92 - 0.41 + 0.56 - 0.77 = 0.3$$

$$a_{45} = 0 - 0.41 + 0.54 - 0.55 + 0.61 - 0 = 0.19$$

Los costos marginales son positivos, lo que indica que ya no es posible reducir el costo total de distribución, por lo tanto, se debe elaborar el programa de distribución óptimo.

**CUADRO 19
PROGRAMA ÓPTIMO DE DISTRIBUCIÓN**

Origen	Destino	Unidades (quintales)	Costo Unitario	Costo Total
Carr. Puerto Quetzal	Palín	1,400	Q0.61	Q854.00
Carr. Puerto Quetzal	F	1,100	Q0.00	Q0.00
Zona 12	Palín	900	Q0.55	Q495.00
Zona 12	San Cristóbal	1,300	Q0.54	Q702.00
Carr. Atlántico	San Cristóbal	300	Q0.56	Q168.00
Carr. Atlántico	El Rancho	2,000	Q0.77	Q1,540.00
Roosevelt	Chimaltenango	2,000	Q0.59	Q1,180.00
Roosevelt	San Cristóbal	300	Q0.41	Q123.00
TOTAL		9,300		Q5,062.00

3.3.5 Interpretación de resultados

Para encontrar el programa de distribución óptimo se hizo una evaluación al programa de distribución factible, proporcionado por el método de vogel, utilizando el método de los pasos secuenciales.

**CUADRO 20
DIFERENCIA ENTRE EL COSTO ACTUAL
Y LOS PROGRAMAS DE DISTRIBUCIÓN FACTIBLES**

PROGRAMAS DE DISTRIBUCIÓN FACTIBLES	COSTO ACTUAL DE TRANSPORTE SEMANAL	DIFERENCIA
Esquina nor-oeste Q 6,271.99	Q 5,903.50	(Q 368.49)
Mínimo costo Q 5,770.00		Q 133.50
Aproximación de vogel Q 5,149.00		Q 754.50
Pasos secuenciales Q 5,062.00		Q 841.50

En el cuadro anterior se muestra que el programa óptimo de distribución es el generado por el método de pasos secuenciales, dado que la diferencia es mayor, lo que significa que se reduce el costo total de transporte.

Con lo cual se pueden obtener los ahorros siguientes:

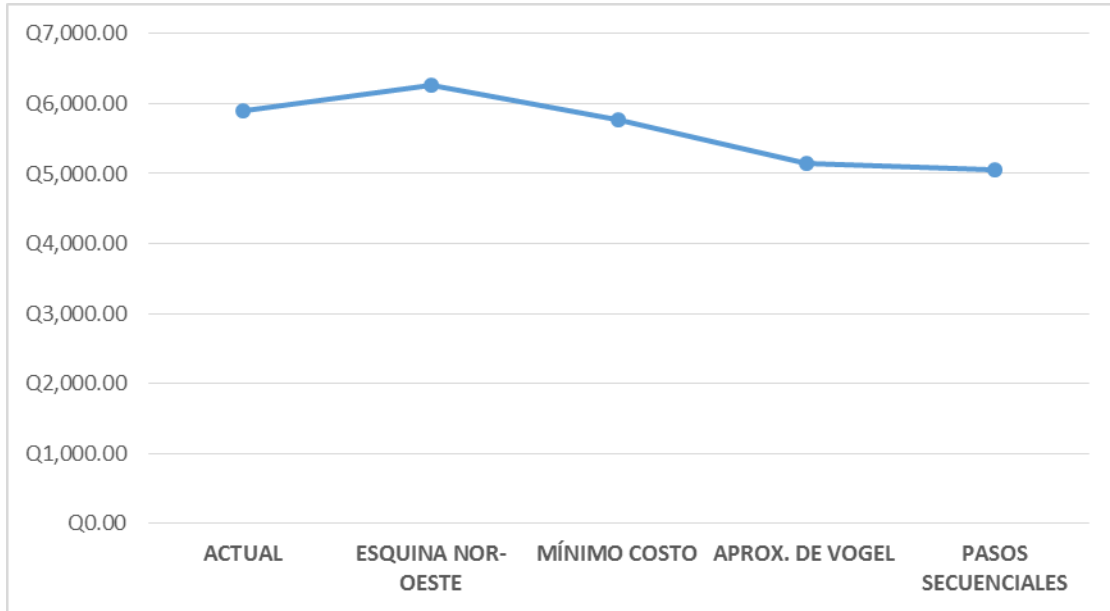
CUADRO 21
ANÁLISIS COMPARATIVO POR SEMANA, MES Y AÑO
ENTRE EL COSTO ACTUAL Y EL CALCULADO

COSTO TOTAL					
SEMANAL		MENSUAL		ANUAL	
Sin la aplicación del modelo	Con la aplicación del modelo	Sin la aplicación del modelo	Con la aplicación del modelo	Sin la aplicación del modelo	Con la aplicación del modelo
Q 5,903.50	Q 5,062.00	Q 23,614.00	Q 20,248.00	Q 283,368.00	Q 242,976.00
Diferencia de Q 841.50		Diferencia de Q 3,366.00		Diferencia de Q 40,392.00	

En el cuadro anterior se muestran los costos totales de transporte actual (sin aplicar el modelo) y con la aplicación del modelo, lo cual refleja la obtención por parte de la empresa un ahorro semanal de Q 841.50, mensual de Q 3,366.00 y de manera anual sería de Q 40.392.00 aproximadamente.

En la gráfica que se presenta a continuación se puede observar la variación que existe en los costos con la aplicación de los modelos matemáticos de transporte.

**FIGURA 3
COMPARACIÓN DEL COSTO ACTUAL Y EL OBTENIDO CON
LOS MODELOS DE TRANSPORTE**



Fuente: elaboración propia con datos obtenidos del cuadro 20.

3.3.6 Distribución propuesta

Luego de realizados los cálculos necesarios, se encuentra la distribución que minimiza los costos de transporte. A continuación se muestra gráficamente la propuesta de las rutas, por bodegas de origen.

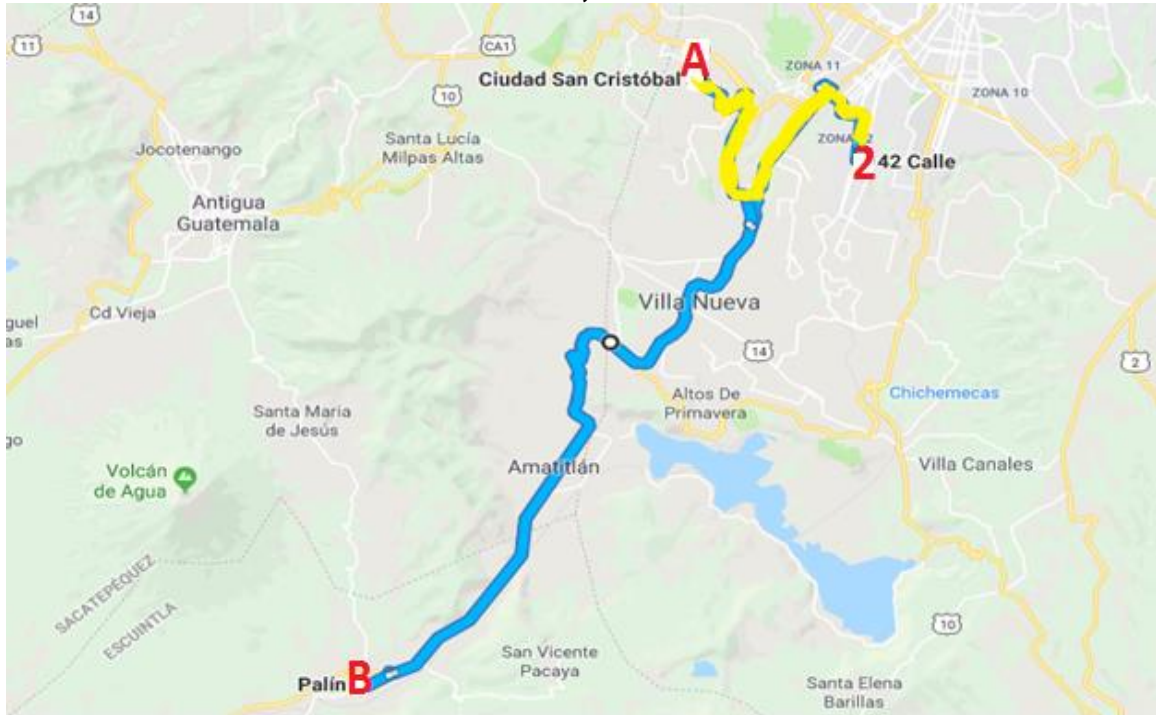
**FIGURA 4
DISTRIBUCIÓN PROPUESTA DE LA BODEGA
CARRETERA A PUERTO QUETZAL**



ORIGEN	DESTINO	
Carretera a Puerto Quetzal, Km. 80 (1)	Palín, Km. 40	B

Fuente: programa óptimo de distribución, cuadro 19.

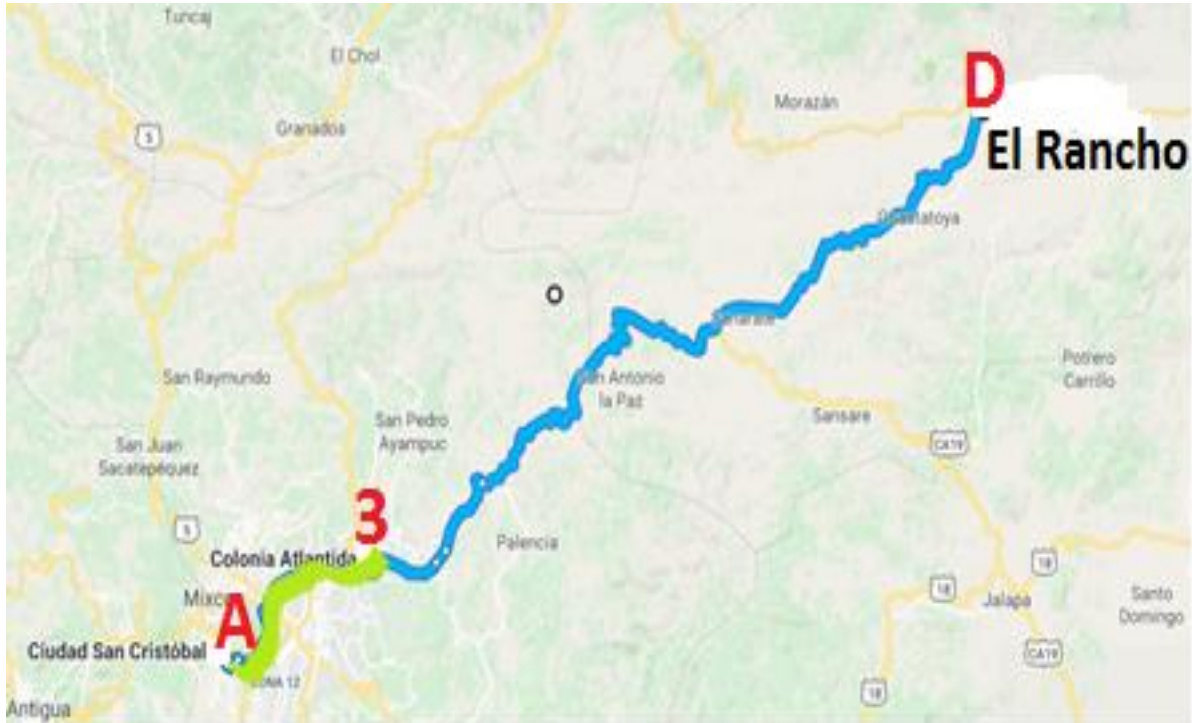
FIGURA 5
DISTRIBUCIÓN PROPUESTA DE LA BODEGA
42 CALLE, ZONA 12



ORIGEN	DESTINO	
42 calle, zona 12 (2)	San Cristóbal, Zona 8 Mixco	A
	Palín, Km. 40	B

Fuente: programa óptimo de distribución, cuadro 19.

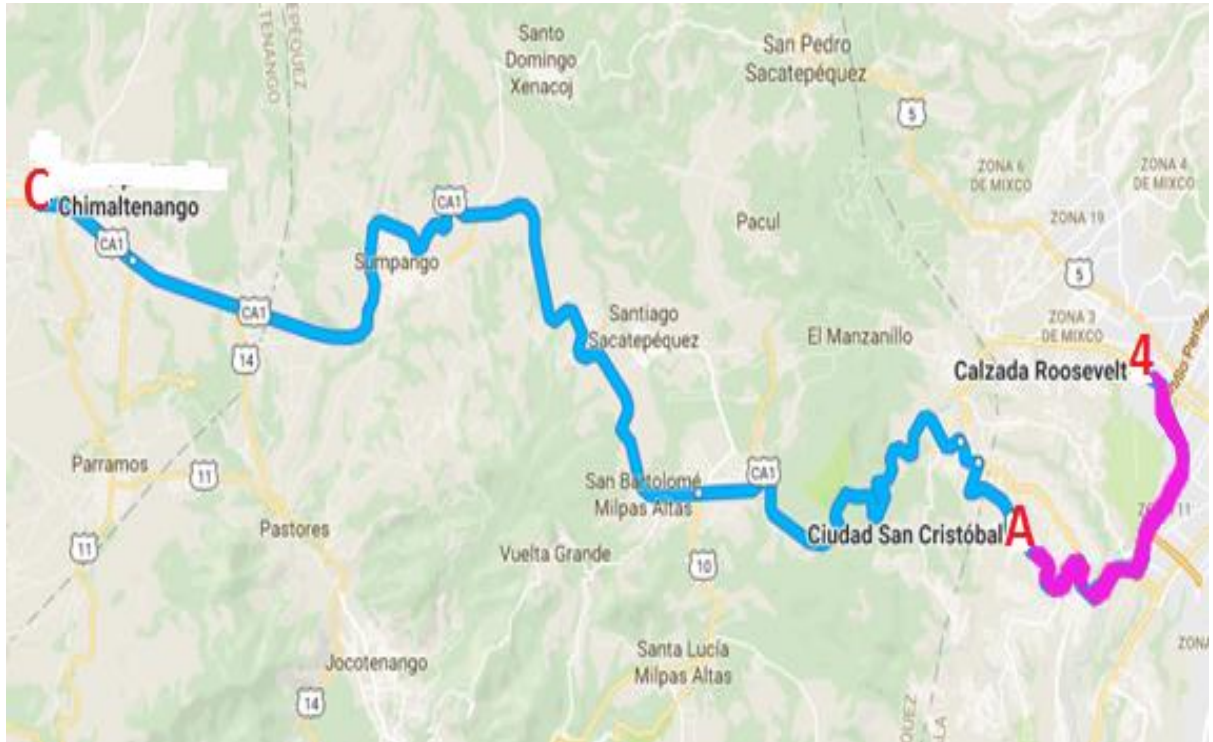
**FIGURA 6
DISTRIBUCIÓN PROPUESTA DE LA BODEGA
CARRETERA AL ATLÁNTICO**



ORIGEN	DESTINO	
Carretera al Atlántico, Km. 14 (3)	San Cristóbal, Zona 8 Mixco	A
	Carr. Atlántico, El Rancho, Km. 84	D

Fuente: programa óptimo de distribución, cuadro 19.

**FIGURA 7
DISTRIBUCIÓN PROPUESTA DE LA BODEGA
ROOSEVELT**



ORIGEN	DESTINO	
Roosevelt, Km. 15 (4)	San Cristóbal, zona 8 Mixco	A
	Chimaltenango, Km. 52.5	C

Fuente: programa óptimo de distribución, cuadro 19.

3.3.7 Propuesta de misión y visión

Se realizaron algunos cambios, para así tener una comprensión más clara de las mismas; quedando de la manera siguiente:

- **Misión:** Somos una empresa que cuenta con el recurso humano capacitado y experimentado en la distribución de productos de acero para la construcción, trabajando con altos estándares de calidad, a través de una operación enfocada en el cliente para garantizar su satisfacción.
- **Visión:** Ser la empresa líder en la distribución de hierro y perfiles a nivel nacional y centroamericano, reconocida por la excelente calidad de los productos que distribuye y logrando con ello sobrepasar las expectativas del mercado.

3.4 COMPROBACIÓN

Se realiza con el fin de corroborar que los datos expuestos anteriormente son los correctos para minimizar los costos en la distribuidora.

3.4.1 En la función objetivo

$$\begin{aligned} \text{Minimizar } Z = & 1.10(0) + 0.61(1,400) + 0.91(0) + 1.27(0) + 0(1,100) + 0.73(0) + \\ & 0.55(900) + 0.54(1,300) + 0.89(0) + 0(0) + 0.75(0) + 0.68(0) + \\ & 0.56(300) + 0.77(2,000) + 0(0) + 0.59(2,000) + 0.53(0) + 0.41(300) \\ & + 0.92(0) + 0(0) \end{aligned}$$

$$\mathbf{Z = Q 5,062.00}$$

3.4.2 En las restricciones

Oferta (origen)

$$\begin{array}{rcl} 1. X_{11} + 1,400 + X_{13} + X_{14} + 1,100 & = & 2,500 \\ & 2,500 & = & 2,500 \\ 2. X_{21} + 900 + 1,300 + X_{24} + X_{25} & = & 2,200 \\ & 2,200 & = & 2,200 \\ 3. X_{31} + X_{32} + 300 + 2,000 + X_{35} & = & 2,300 \\ & 2,300 & = & 2,300 \\ 4. 2,000 + X_{42} + 300 + X_{44} + X_{45} & = & 2,300 \\ & 2,300 & = & 2,300 \end{array}$$

Demanda (destino)

$$\begin{array}{rcl} 1. X_{11} + X_{21} + X_{31} + 2,000 & = & 2,000 \\ & 2,000 & = & 2,000 \\ 2. 1,400 + 900 + X_{32} + X_{42} & = & 2,300 \\ & 2,300 & = & 2,300 \\ 3. X_{13} + 1,300 + 300 + 300 & = & 1,900 \\ & 1,900 & = & 1,900 \\ 4. X_{14} + X_{24} + 2,000 + X_{44} & = & 2,000 \\ & 2,000 & = & 2,000 \\ 5. 1,100 + X_{25} + X_{35} + X_{45} & = & 1,100 \\ & 1,100 & = & 1,100 \end{array}$$

De acuerdo a las restricciones planteadas, se puede observar que la solución encontrada es la correcta.

CONCLUSIONES

1. El modelo de transporte permite realizar una correcta asignación de rutas, dado que se establecen destinos y orígenes de acuerdo al menor costo que se origina, por la proximidad de los recorridos; por tanto, se optimizan recursos de la empresa y se minimizan los costos.
2. El método que dio el menor costo para la distribución de hierro y perfiles, es el de aproximación de vogel o multas; en comparación al método de esquina nor-oeste y de mínimo costo que no presentan una reducción considerable en el costo de distribución.
3. Actualmente la empresa tiene costos mensuales en transporte de Q 23,614.00, con la aplicación del modelo matemático el costo mensual se reduce a Q 20,248.00, obteniendo un ahorro de Q 3,366.00; si los costos permanecen más o menos constantes durante todos los meses del año, el ahorro sería de Q 40,392.00 anuales.
4. La redacción de la misión y visión presentan deficiencias que no permiten su comprensión, no expresan claro lo que son y quieren ser, por lo que se hizo una actualización de las mismas.

RECOMENDACIONES

1. Para mejorar los procesos de distribución en las distintas rutas de la empresa, es necesaria la implementación del modelo de transporte, el cual le permite minimizar los costos de reparto.
2. Evaluar la información utilizada en el método de aproximación de Vogel y monitorear mensualmente los costos de transporte, con el fin de ajustar los cambios futuros que puedan surgir en los rubros que conforman el costo (combustible, mantenimiento, depreciación de vehículos y sueldos) y así obtener un resultado verídico y confiable.
3. Utilizar el modelo matemático de transporte, con lo cual se logra la optimización de las rutas de distribución y también la reducción de los costos.
4. Implementar las actualizaciones presentadas, con lo que se estará expresando de manera clara la razón de ser de la empresa y su visión.

BIBLIOGRAFÍA

1. Chase, Richard; Jacobs, Robert y Aquilano, Nicholas. Administración de Operaciones. Producción y Cadena de Suministros. Mc Graw Hill. 2009. México, D. F. Duodécima edición. (775 p).
2. Cuevas, Carlos Fernando. Contabilidad de Costos. Enfoque gerencial y de gestión. Pearson, Prentice Hall. 2009. Colombia. Segunda edición. (313 p).
3. Heizer, Jay y Render, Barry. Principios de Administración de Operaciones. Pearson Prentice Hall. 2009. México D. F. Séptima edición. (684 p).
4. Hernández Sampieri, Roberto; Fernández Collado, Carlos y Baptista Lucio, Pilar. Metodología de la Investigación. Mc Graw Hill Interamericana. 2010. México, D. F. Quinta edición. (613 p).
5. Hillier, Frederick y Lieberman, Gerald. Introducción a la Investigación de Operaciones. Mc Graw Hill, 2006. México, D.F. Octava edición. (1061 p).
6. Hillier, Frederick y Lieberman, Gerald. Introducción a la Investigación de Operaciones. Mc Graw Hill, 1988. México, D.F. Cuarta edición. (833 p).
7. Render, Barry; Stair, Ralph y Hanna, Michael. Métodos cuantitativos para los negocios. Pearson Prentice Hall. 2006. México, D.F. Novena edición. (731 p).

8. Reyes Pérez, E. Contabilidad de Costos. Editorial LIMUSA. 2010. México, D.F. Cuarta edición. (229 p).

9. Thierauf, Robert. Toma de decisiones por medio de Investigación de operaciones. Editorial Limusa. 2008. México, D.F. Sexta edición. (560 p).

ANEXOS

ANEXO 1 GUÍA DE ENTREVISTA

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE CIENCIAS ECONÓMICAS
ESCUELA DE ADMINISTRACIÓN DE EMPRESAS

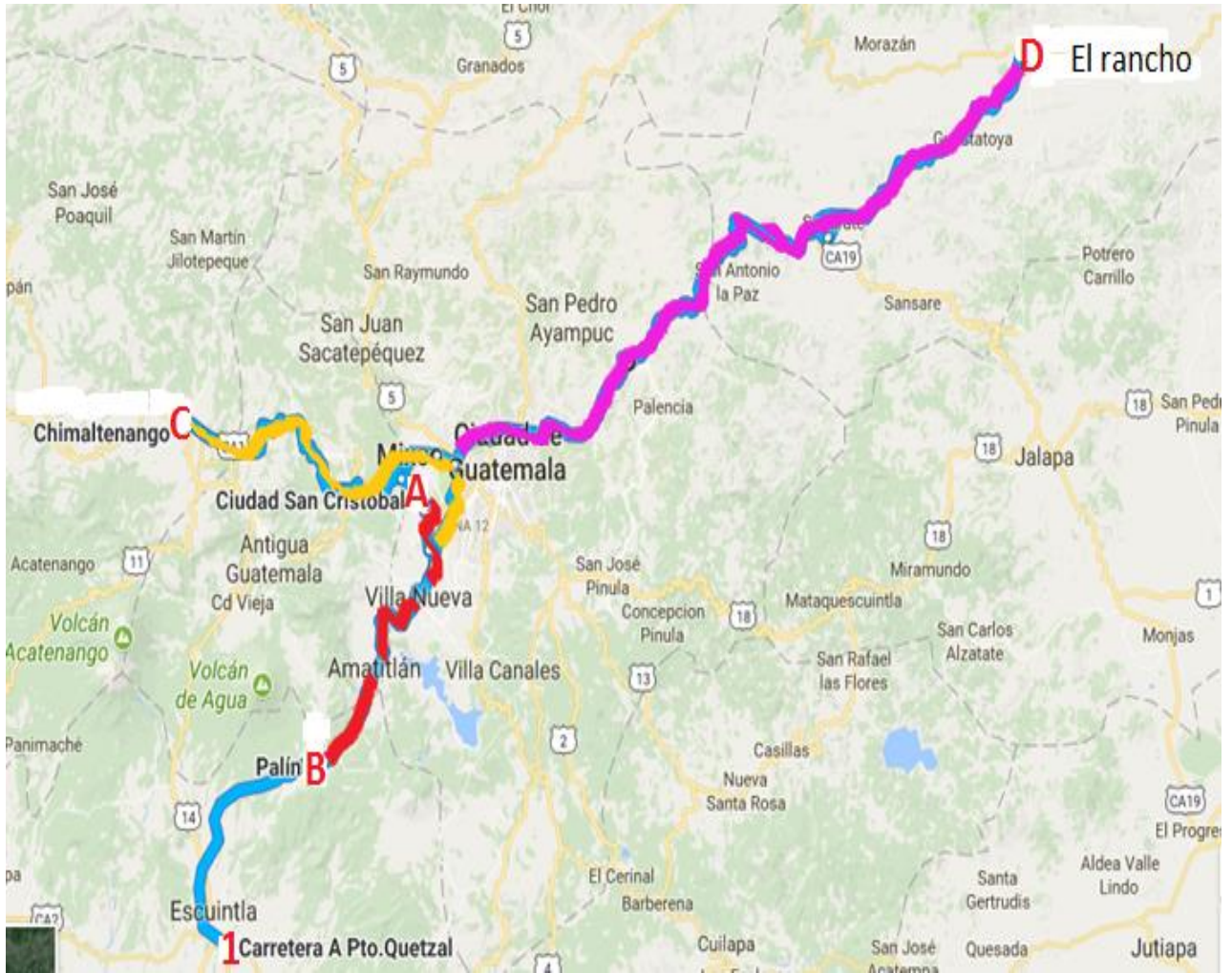


GUÍA DE ENTREVISTA

La siguiente entrevista se realiza con el objetivo de obtener información de los registros contables de los costos de transporte de los productos, desde las bodegas de la empresa hacia sus clientes.

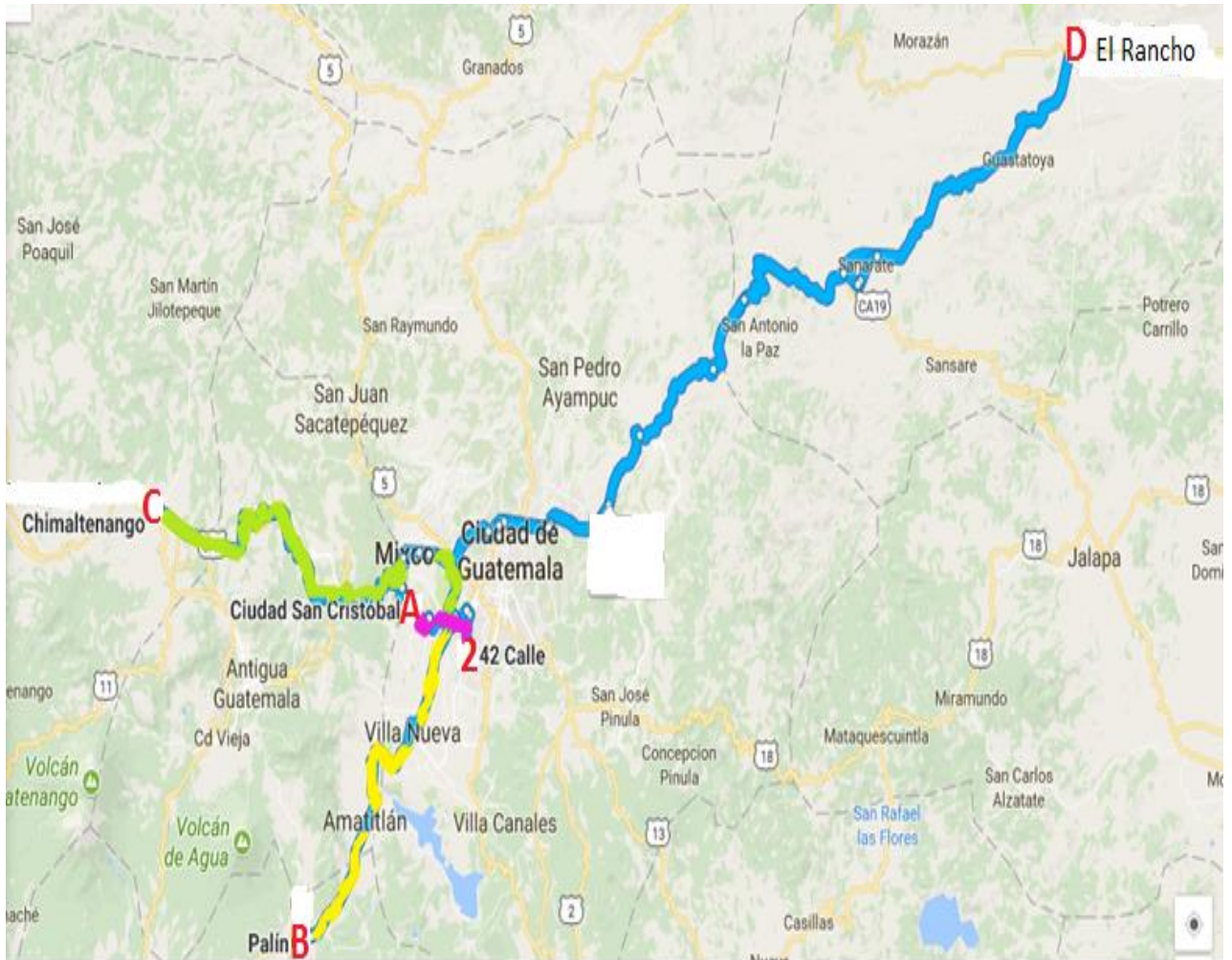
1. ¿Cuál o cuáles son los productos que distribuyen?
2. ¿Cuál es la unidad de medida que utilizan para la distribución?
3. ¿Cuántas bodegas de origen tiene la empresa y dónde se encuentran ubicadas?
4. ¿A cuántos clientes distribuyen el producto y cuál es su ubicación?
5. ¿A cuánto asciende la cantidad de demanda mensual?
6. ¿Qué cantidad de oferta manipulan mensualmente?
7. ¿Qué rubros integran el costo de transporte?
8. ¿Cuál es la cantidad de entregas diarias?

ANEXO 2
DISTRIBUCIÓN ACTUAL DE LA BODEGA DE CARRETERA
A PUERTO QUETZAL A LOS DIFERENTES DESTINOS



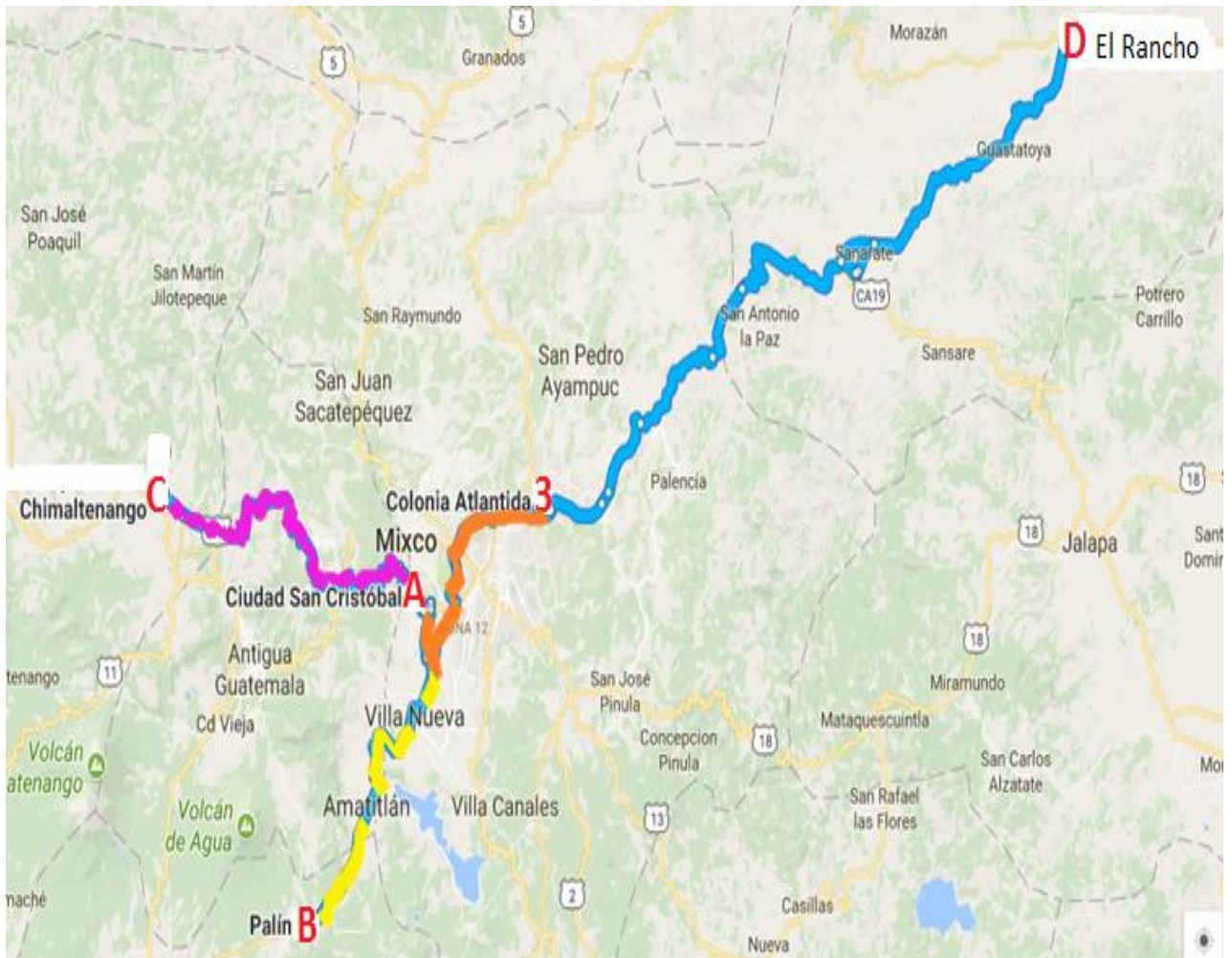
ORIGEN	DESTINO	IDENTIFICACIÓN	DISTANCIA EN KILÓMETROS
Carretera a Puerto Quetzal, Km. 80 (1)	San Cristóbal, zona 8 Mixco	A	98
	Palín, Km. 40	B	40
	Chimaltenango, Km. 52.5	C	132.5
	Carr. Atlántico, El Rancho Km. 84	D	164

ANEXO 3
DISTRIBUCIÓN ACTUAL DE LA BODEGA DE LA 42 CALLE
A LOS DIFERENTES DESTINOS



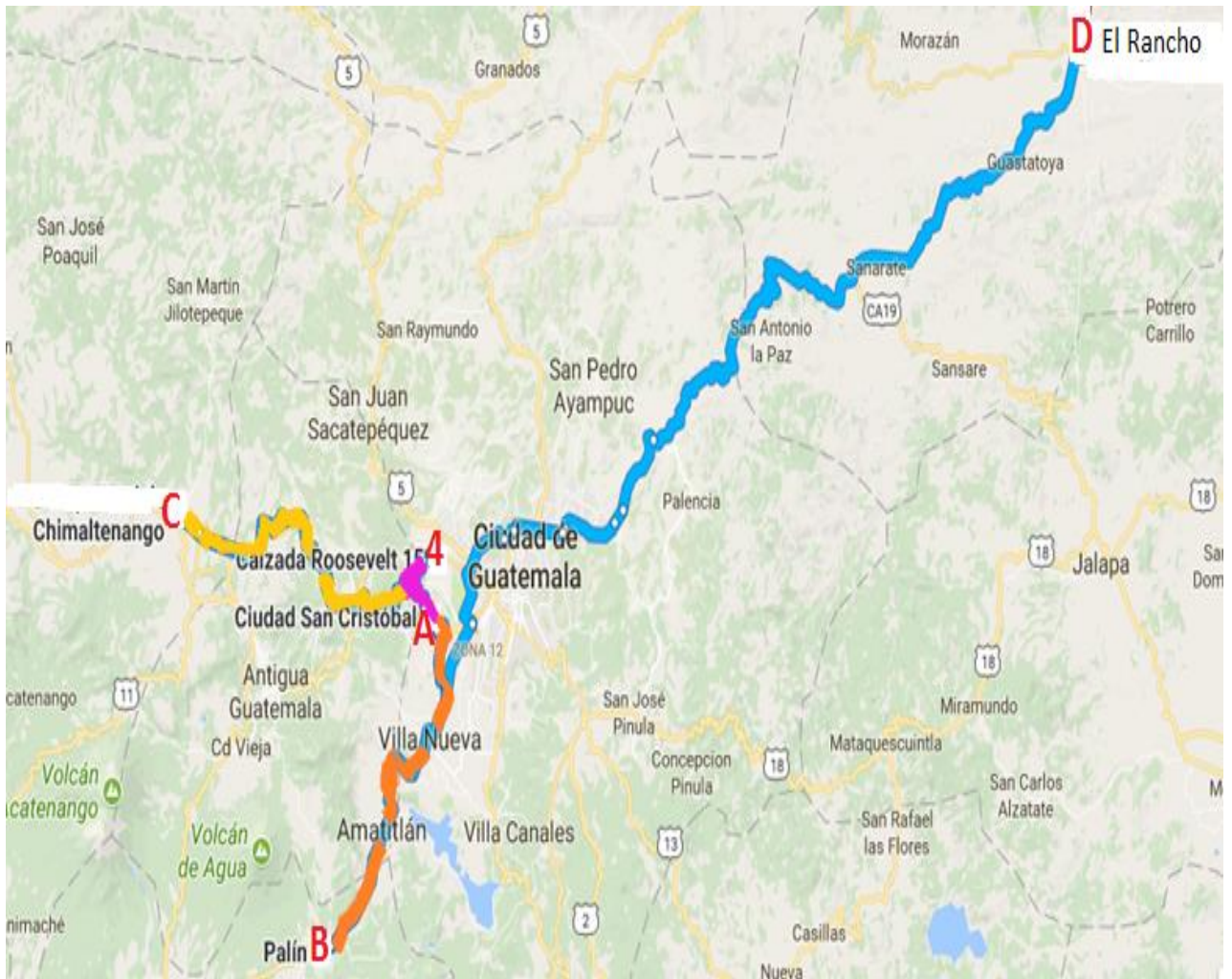
ORIGEN	DESTINO	IDENTIFICACIÓN	DISTANCIA EN KILÓMETROS
42 calle, zona 12 (2)	San Cristóbal, zona 8 Mixco	A	28
	Palín, Km. 40	B	30
	Chimaltenango, Km. 52.5	C	62.5
	Carr. Atlántico, El Rancho Km. 84	D	94

ANEXO 4
DISTRIBUCIÓN ACTUAL DE LA BODEGA DE CARRETERA AL
ATLÁNTICO A LOS DIFERENTES DESTINOS



ORIGEN	DESTINO	IDENTIFICACIÓN	DISTANCIA EN KILÓMETROS
Carretera al Atlántico, Km. 14 (3)	San Cristóbal, zona 8 Mixco	A	32
	Palín, Km. 40	B	54
	Chimaltenango, Km. 52.5	C	66.5
	Carr. Atlántico, El Rancho Km. 84	D	70

ANEXO 5
DISTRIBUCIÓN ACTUAL DE LA BODEGA
ROOSEVELT A LOS DIFERENTES DESTINOS



ORIGEN	DESTINO	IDENTIFICACIÓN	DISTANCIA EN KILÓMETROS
Roosevelt, Km. 15 (4)	San Cristóbal, zona 8 Mixco	A	3
	Palín, Km. 40	B	25
	Chimaltenango, Km. 52.5	C	37.5
	Carr. Atlántico, El Rancho Km. 84	D	99