

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

**“APLICACIÓN DE UN MODELO MATEMÁTICO PARA  
DETERMINAR LA MINIMIZACIÓN DE COSTOS POR EL  
MÉTODO SIMPLEX, EN UNA FÁBRICA DE CALZADO  
UBICADA EN LA ZONA 6 DEL MUNICIPIO DE MIXCO”**

**TESIS**

**PRESENTADA A LA JUNTA DIRECTIVA  
DE LA FACULTAD DE CIENCIAS ECONÓMICAS  
POR**

**DORA ALICIA VELA Y VELA**

**PREVIO A CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE**

**ADMINISTRADORA DE EMPRESAS**

**EN EL GRADO ACADÉMICO DE**

**LICENCIADA**

**GUATEMALA, FEBRERO DE 2016**

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

<b>DECANO:</b>	Lic. Luis Antonio Suárez Roldán
<b>SECRETARIO:</b>	Lic. Carlos Roberto Cabrera Morales
<b>VOCAL II:</b>	Lic. Carlos Alberto Hernández Gálvez
<b>VOCAL III:</b>	Lic. Juan Antonio Gómez Monterroso
<b>VOCAL IV:</b>	P.C. Oliver Augusto Carrera Leal
<b>VOCAL V:</b>	P.C. Walter Obdulio Chigüichón Boror

**PROFESIONALES QUE PRACTICARON EL EXÁMEN DE ÁREAS  
PRÁCTICAS BÁSICAS**

Área Matemática – Estadística :	Lic. Axel Osberto Marroquín Reyes
Área Administración – Finanzas:	Licda. Reyna Leticia Aguirre Chacón
Área Mercadotecnia – Operaciones:	Licda. Elvia Zulena Escobedo Chinchilla

**JURADO QUE PRACTICÓ EL EXAMEN PRIVADO DE TESIS**

<b>PRESIDENTE:</b>	Lic. Oscar Haroldo Quiñonez Porras
<b>SECRETARIA:</b>	Licda. Thelma Marina Soberanis
<b>EXAMINADOR:</b>	Lic. Axel Osberto Marroquin Reyes

Guatemala, 10 noviembre 2015


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

Señor Decano:

De conformidad con el nombramiento emanado de su decanatura, con fecha 24 de agosto del 2015, en el que se me designa asesor de tesis de la estudiante Dora Alicia Vela Vela, carné 52282, con el tema "Aplicación de un modelo matemático para determinar la minimización de costos, por el método simplex, en una fábrica de calzado ubicada en la zona 6 del municipio de Mixco", 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

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE  
GUATEMALA



FACULTAD DE CIENCIAS  
ECONOMICAS

Edificio "S-8"

Ciudad Universitaria, Zona 12  
GUATEMALA, CENTROAMERICA

**DECANATO DE LA FACULTAD DE CIENCIAS ECONOMICAS, GUATEMALA,  
DIEZ DE MARZO DE DOS MIL DIECISÉIS.**

Con base en el Punto QUINTO, inciso 5.1, subinciso 5.1.1 del Acta 3-2016 de la sesión celebrada por la Junta Directiva de la Facultad el 22 de febrero de 2016, se conoció el Acta ADMINISTRACIÓN 353-2015 de aprobación del Examen Privado de Tesis, de fecha 27 de noviembre de 2015 y el trabajo de Tesis denominado: "APLICACIÓN DE UN MODELO MATEMÁTICO PARA DETERMINAR LA MINIMIZACIÓN DE COSTOS, POR EL MÉTODO SIMPLEX, EN UNA FÁBRICA DE CALZADO UBICADO EN LA ZONA 6 DEL MUNICIPIO DE MIXCO", que para su graduación profesional presentó la estudiante DORA ALICIA VELA Y VELA, autorizándose su impresión.

Atentamente,

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"

LIC. LUIS ANTONIO SUÁREZ ROLDÁN  
DECANO

Smp.

LIC. CARLOS ROBERTO CABRERA MORALES  
SECRETARIO



## ACTO QUE DIDICO

- A DIOS Por darme la vida y ser siempre mi guía.
- A MI PADRES: José Gertrudis Vela Godoy (†), Zoila Vela de Vela por sus sabias enseñanzas, sus consejos y su amor incondicional.
- A MIS HIJAS: Alis y Faby por ser mi inspiración para superarme cada día más, las amo.
- A MIS NIETOS: Ximenita y Pablito como un ejemplo de esfuerzo y superación.
- A MIS HERMANOS: Enma Violeta, Ana Estela y Mario por su cariño, comprensión y apoyo en todo momento.
- A MIS SOBRINOS: Con especial cariño.
- A MIS CUÑADOS: Por su aprecio y cariño .
- A MI HIJO POLITICO: Luis Fernando Polanco por su apoyo y motivación.
- A MIS MAESTROS: En especial al Lic. Oscar Haroldo Quiñónez Porras, por su apoyo y los conocimientos impartidos, durante mi carrera profesional.
- A MIS AMIGOS: Lic. Axel Marroquín, Licda. Thelma Soberanis, Licda. Carolina Sotoj, Lic. Elvis Xicará, Lic. Francisco Castellón, por la oportunidad de compartir en el área de Métodos Cuantitativos.
- A LA FÁBRICA DE CALZADO AGUILAR: Que me brindo la oportunidad de realizar la investigación
- A LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS: Por haber sido la casa de estudios que me formó durante estos años.
- A USTED: Afectuosamente.

## ÍNDICE

Contenido	Página
<b>INTRODUCCIÓN</b>	i
<b>CAPÍTULO I</b>	
1. MARCO TEÓRICO	
1.1 Investigación de operaciones	1
1.2 Metodología de la investigación de operaciones	4
1.2.1 Definición del problema	5
1.2.2 Desarrollo del modelo matemático	5
1.2.2.1 Requerimientos	5
1.2.2.2 Prueba de optimalidad	6
1.2.3 Solución del modelo	7
1.2.4 Validación del modelo	7
1.2.5 Implementación del modelo	7
1.3 Programación Lineal	8
1.3.1 Método gráfico	8
1.3.2 Modelo de transporte	9
1.3.3 Modelo de asignación	9
1.3.4 Método Simplex	9
1.3.4.1 Maximización	10
1.3.4.2 Minimización	11
1.4 Pasos para minimización del método simplex	13
1.5 El Calzado en Guatemala	19
1.5.1 Definición	19
1.5.2 Historia	19
1.6 La Empresa	20
1.6.1 Empresa Industrial	20

Contenido	Página
<b>CAPÍTULO II</b>	
2.1 Generalidades de la Empresa	21
2.1.1 Actividad Económica	21
2.1.2 Distribución	22
2.1.3 Administración	22
2.2 Proceso de producción	22
2.2.1 Materiales	23
2.2.2 Mano de obra	23
2.2.3 Administrativos	23
2.2.4 Humanos	24
2.2.5 Físicos	24
2.3 Pasos necesarios para la elaboración del calzado	24
2.4 Recolección de información	30
2.4.1 Metodología	30
2.4.2 Método científico	30
2.4.3 Método inductivo – deductivo	30
<b>CAPÍTULO III</b>	
3. Aplicación del Modelo Matemático – Estadístico	34
3.1 Objetivo	34
3.2 Desarrollo del modelo	34
3.2.1 Identificación de datos	34
3.3 Ejecución del modelo Matemático – Estadístico	35
<b>CONCLUSIONES</b>	43
<b>RECOMENDACIONES</b>	44
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	45
<b>ANEXOS</b>	46

## ÍNDICE DE CUADROS

No.	Título	Página
1	Costo de la materia prima para la fabricación de un par de zapatos	31
2	Costo de la mano de obra para la fabricación de un par de zapatos	32
3	Costo de administración para la fabricación de un par de zapatos	32
4	Costo de ventas para la fabricación de un par de zapatos	33
5	Costo total para la fabricación de un par de zapatos	33



## ÍNDICE DE ANEXOS

No.	Título	Página
1	Proceso de producción	47
2	Producto terminado	53

## INTRODUCCIÓN

Actualmente las empresas representan un papel importante para la economía de un país, son fuentes de trabajo y generan ingresos para el sostenimiento de las familias, es por ello que los empresarios tienen la responsabilidad de velar por el buen manejo de los recursos. La empresa motivo de estudio tiene varios años de permanecer en el mercado, constantemente debe ofrecer a sus clientes un producto de buena calidad, sin incrementar el costo de los mismos.

El presente trabajo se elaboró con el propósito de conocer el proceso de producción y las condiciones como se desarrollan las actividades, dentro de la fábrica, para determinar si las herramientas que actualmente utilizan para el aprovechamiento de los recursos, son las correctas.

El informe está contenido en tres capítulos: capítulo I contiene conceptos básicos, que servirán de base para realizar la investigación.

El capítulo II se refiere a la descripción de la empresa y sus antecedentes, su organización, su desempeño, su forma de administración, cómo se lleva a cabo el proceso de producción. Además se describen métodos y técnicas que se utilizaron, para realizar la investigación de campo y finalmente la descripción del modelo matemático propuesto.

El capítulo III contiene la propuesta del uso del modelo matemático simplex, que incluye el desarrollo del modelo aplicado a los datos que se obtuvieron por medio de la investigación de campo realizada en la empresa, tomando en cuenta los datos requeridos para la solución del problema y demostrando así la importancia que tiene el uso del modelo en el proceso de producción para cumplir con los objetivos de la empresa. Finalmente como resultado de la investigación realizada, se plantean conclusiones y recomendaciones que de ponerse en práctica, la empresa podría lograr minimizar costos.

## CAPÍTULO I

### 1. MARCO TEÓRICO

El marco teórico tiene como propósito dar a conocer los principales conceptos, definiciones y categorías, que son necesarias para la comprensión del problema a investigar, así como fundamentar los elementos conceptuales y las teorías sobre el tema.

En general este capítulo es importante porque ayuda a comprender el manejo correcto de los conceptos básicos, los que servirán de referencia para interpretar los resultados y para sustentar la propuesta de investigación.

#### 1.1 Investigación de operaciones

Es una rama de las matemáticas, que ayuda a la administración de diferentes sistemas, enfocada al estudio de modelos matemáticos, estadística y algoritmos, con el propósito de ayudar al proceso de toma de decisiones, esta herramienta está diseñada para contribuir a resolver problemas complejos de sistemas reales, con la finalidad de mejorar su funcionamiento. Ayuda a utilizar de manera efectiva los recursos, teniendo en cuenta que son limitados y que se debe optimizar un objetivo bien definido, el cual puede ser maximización o minimización de las variables en estudio.

La investigación de operaciones “puede proporcionar a los administradores de alto nivel una base cuantitativa para decisiones que aumentan la eficacia de esas organizaciones para llevar a cabo sus propósitos básicos” ( 1:11)

“El uso de las matemáticas y las computadoras ayudan a tomar decisiones racionales frente a problemas de administración complejos” ( 1:5 )

La investigación de operaciones estudia sistemas reales que se utilizan en las empresas, con el fin de mejorar su funcionamiento, a través de tomar decisiones, aprovechando las herramientas que permiten el estudio adecuado a las

necesidades de cada una de las empresas, para poder plantear alternativas que sean óptimas para el mejor funcionamiento.

La investigación de operaciones ayuda en la determinación más efectiva en la utilización de los recursos limitados en la toma de decisiones, tomando en cuenta la escasez de los mismos, para optimizar un objetivo definido.

También puede aplicarse a la solución de problemas en diferentes áreas, de las organizaciones, los que pueden representarse por medio de modelos matemáticos.

### Modelo

“El modelo es una representación o abstracción de una situación de objetos reales, que muestra las relaciones (directas o indirectas) y las interrelaciones de la acción y la reacción en términos de causa y efecto” ( 1:13 )

Hay varias clases de modelos que son:

- Físicos
- Matemáticos
- Numéricos
- Gráficos

Un modelo matemático en si representa una situación con objetos reales que se describen con una serie de desigualdades, se forma con una función objetivo, restricciones y variables de decisión que pueden plantearse en forma cuantitativa, usando símbolos para representar constantes y variables y generalmente son números, se clasifican de la siguiente manera:

## Modelo matemático

Se llama modelo matemático a la descripción en lenguaje matemático, de un objeto que está escrito en lenguaje común. Hay varios modelos matemáticos que son:

- Cualitativos:

Este se encarga de resolver los problemas de investigación de operaciones que se refieren específicamente a cualidades o propiedades.

- Cuantitativos:

Son aquellos que su función es resolver problemas que están representados en cantidades.

- Descriptivos:

Este tipo de modelo describe las soluciones en problemas matemáticos, pero no escoge la mejor alternativa.

- De optimización:

Se encarga de ofrecer una solución óptima, teniendo varias alternativas para resolver un problema.

- Estáticos:

Este ofrece soluciones cuando hay una serie de condiciones que probablemente no cambian significativamente a corto plazo, el resultado se basa en alguna condición fija.

- Dinámicos:

Este modelo está sujeto al factor tiempo, pues este representa un importante papel en la secuencia de las decisiones, la solución que presenta, sí es óptima.

- Determinísticos:

Se llama así cuando en el problema se conoce la información y los datos que se necesitan para sustentar un modelo y así obtener la solución con certeza, ya que las mismas entradas producirán invariablemente las mismas salidas, realizando varios procesos con lo que se encuentra un resultado puntual, donde no hay incertidumbre.

- Estocásticos o probabilísticos:

Son aquellos problemas en los que la información necesaria no se conoce con certeza sino que solo son probabilidades, se verifican con incertidumbre y cada alternativa del problema tiene varias soluciones, pero se ignora con cuál de ellas se encuentran esas soluciones, aquí es necesario hacer referencia a la teoría de la probabilidad. Es importante la investigación de operaciones, porque permite tener elementos para encontrar las mejores soluciones y lograr optimizar los recursos.

## 1.2 Metodología de la investigación de operaciones

Para la solución de problemas es necesario examinar todas las áreas que son responsabilidad del administrador, esto permite determinar dónde se encuentra el o los problemas, tomando en cuenta factores externos e internos. También contribuye a encontrar soluciones, por eso es muy importante para quienes toman decisiones, porque les proporciona bases cuantitativas para seleccionar las mejores soluciones y así optimizar los recursos. Para esto se necesita involucrar a muchas personas dentro de la empresa.

La investigación de operaciones proporciona bases para que los encargados de tomar decisiones puedan seleccionar las mejores soluciones y así optimizar sus recursos.

A continuación se enumeran cada uno de los pasos de la metodología que utiliza la investigación de operaciones:

#### 1.2.1 Definición del problema

Inicialmente es necesario identificar y describir en forma específica, las deficiencias, efectos y consecuencias que la organización enfrenta, tomando en cuenta variables, limitaciones y suposiciones, lo que permite tener una visión de la situación actual. Esto ayuda a definir claramente el problema, tomando en cuenta los factores que lo afectan.

#### 1.2.2 Desarrollo del modelo matemático

El modelo matemático debe constituirse por relaciones matemáticas, ecuaciones y desigualdades, que se establecen en términos de variables y que representan la esencia del problema que se pretende solucionar.

Después que el problema ha sido claramente, definido y comprendido, se debe expresar en forma matemática, definiendo claramente la función objetivo, identificar las variables de decisión y conocer las limitaciones o restricciones.

Para encontrar la solución al problema es necesario utilizar técnicas matemáticas, haciendo uso de la programación lineal, que proporciona el método gráfico y el método simplex.

Es importante conocer adecuadamente el uso de algunos conceptos que son necesarios en el proceso de investigación de operaciones y así aplicarlos correctamente, al interpretar los resultados.

##### 1.2.2.1 Requerimientos

Son cantidades numéricas que también se llaman restricciones, son limitaciones que se deben cumplir con ciertas variables para su buen funcionamiento, se formulan dentro del problema, pueden representarse como mayor o igual que

“ $\geq$ ”, cuando se refiere a una maximización o como menor o igual que “ $\leq$ ” cuando se refiere a minimización, según sea el caso. El signo debe ser homogéneo para todos los requerimientos.

Una restricción puede expresarse en matemática así:

$$x_1 + x_2 + x_3 \geq c_n$$

Cuando el signo de las restricciones no es homogéneo, se debe multiplicar por -1 toda la restricción de la siguiente manera:

$$x_1 + x_2 + x_3 \geq c_n \quad (-1) \quad \text{lo que da como resultado}$$

$$-x_1 - x_2 - x_3 \geq -c_n$$

Cuando se van a comprobar los resultados al final del proceso, debe tomarse en cuenta la restricción original.

#### 1.2.2.2 Prueba de optimalidad

“La solución BF es óptima sí y solo sí todos los coeficientes del renglón 0 son no negativos ( $\geq 0$ ). Si es así, el proceso se detiene; de otra manera, sigue a una iteración para obtener la siguiente solución BF, que incluye cambiar una variable no básica en básica y viceversa y después despejar la nueva solución” ( 5:18)

“La variable de entrada en un problema de maximización o minimización es la variable no básica que el coeficiente mas negativo en el renglón Z” ( 2:13 )

Esta prueba se hace con el objetivo de comprobar si la solución obtenida es óptima o no. Si todos los valores son mayores o iguales a cero entonces solución sí es óptima, si uno o más valores son cero, entonces es posible otra iteración que proporcione un mejor resultado.



### 1.2.3 Solución del modelo

Una vez formulado el problema, se deben elegir técnicas adecuadas para la solución del problema, tomando en cuenta toda la información que se recolectó, con el propósito de optimizar los resultados.

La solución según los datos de entrada puede ser por dos métodos que son: óptimos o heurísticos. El método óptimo permite satisfacer simultáneamente todas las limitaciones y proporciona el mejor valor para la función objetivo.

El método heurístico proporciona valores para satisfacer todas las limitaciones, pero no son necesariamente óptimos, dan un valor aceptable para la función objetivo.

### 1.2.4 Validación del modelo

Este es válido si después de probarlo, produce un resultado confiable del funcionamiento del resultado obtenido, tomando en cuenta de los datos de la entrada.

Después de resolver el problema, es importante validar la solución, para que estos tengan sentido y las decisiones que se tomen sean las correctas.

Si después del proceso de validación se encuentra que la solución no puede llevarse a cabo, se deben identificar las limitaciones que no se tomaron cuenta durante la formulación del problema, en este caso debe revisarse el planteamiento del problema y hacer las modificaciones que se consideren pertinentes, e iniciar nuevamente el proceso.

### 1.2.5 Implementación del modelo

Después de haber validado el modelo, es necesario transmitir la solución encontrada a través de instrucciones necesarias y que sea entendible para

quienes estuvieron involucrados durante el proceso y deben aplicarlo y poder obtener los resultados esperados.

### 1.3 Programación lineal.

Es una técnica matemática que se usa, para resolver problemas, y permite determinar la mejor asignación de los recursos limitados con que cuenta una empresa, también se dice que es una técnica para resolver problemas de forma matemática, que pretende la optimización de resultados, esto se puede realizar por medio de la maximización o minimización de una función objetivo, haciendo uso de las variables de decisión que están sujetas a una serie de restricciones.

“La programación lineal es una técnica de modelado matemática, diseñada para optimizar el empleo de recursos limitados” (1:12)

La programación lineal constituye un importante campo en la optimización, ya que muchos problemas prácticos pueden plantearse, como problemas de la programación lineal. Es muy usada en la administración de empresas, porque permite aumentar al máximo los ingresos o reducir al mínimo los costos de un sistema de producción. Su aplicación es muy amplia ya que puede usarse en diferentes áreas de una empresa, tales como: finanzas, distribución, producción y operaciones y mercadotecnia entre otras. Entre los modelos para mostrar la solución de programación están: el método gráfico, el modelo de transporte, el modelo de asignación y el método simplex, este último ayuda a resolver los problemas incluso de gran tamaño.

#### 1.3.1 Método gráfico

También se le llama método geométrico, consiste en utilizar el cuadrante positivo de las coordenadas cartesianas, mediante el trazo de líneas rectas horizontales, verticales y diagonales, las que ayudan a determinar un área de solución común también llamada área factible que satisface todas las restricciones. Este método es aplicable cuando el modelo tiene dos variables, porque esto permite ilustrar

gráficamente. Dependiendo de su función objetivo, puede utilizarse maximizar o minimizar.

### 1.3.2 Modelo de transporte

Es una técnica que sirve para determinar un programa de transporte de productos o mercaderías, desde un punto de origen hasta los diferentes destinos, al menor costo posible, este modelo tiene como objetivo que se pueda determinar la cantidad de cierta mercadería que pueda enviarse, desde un punto de origen hacia un punto de destino, para satisfacer a las partes involucradas, esto permite que a través de la oferta que las empresas proponen, pueda ser satisfecha la demanda que los compradores esperan, este modelo puede aplicarse a diversas áreas como control de inventarios, programación del empleo, flujo de efectivo.

### 1.3.3 Modelo de asignación

“Los problemas de asignación presentan una estructura similar a los de transporte, pero con dos diferencias: asocian igual número de orígenes con igual número de demandas y las ofertas en cada origen es de valor uno, como lo es la demanda de cada destino” (2:5 )

Este modelo asocia igual número de orígenes con igual número de destinos, demandas y ofertas, en cada origen es de valor uno, esto significa cada origen solo debe tener un destino; para desarrollar este modelo es necesario conocer el punto de origen, el punto de destino y la unidad de medida necesaria, esto puede usarse para maximizar o minimizar.

### 1.3.4 Método simplex

El método simplex fue creado en 1,947, por el matemático estadounidense George Bernard, junto con el departamento de fuerza de los Estados Unidos, con el objetivo de buscar cómo aprovechar mejor los recursos. Posteriormente fueron

haciendo revisiones para aumentar la eficiencia del método, pero su esencia o base siguió siendo la misma.

El método simplex es un método que sirve para resolver problemas de programación lineal, que utiliza un procedimiento iterativo de solución, es un algoritmo. Por consiguiente, un algoritmo es sencillamente un proceso de cálculo iterativo ya que a través de varios pasos, en el que se repite un procedimiento sistemático una y otra vez hasta que se obtiene el dato que se desea.

El método simplex es el más complejo, respecto a otros métodos, en cuanto a sistemas reales, permite ir mejorando la solución a cada paso, se puede trabajar con tres o más variables de decisión, hasta encontrar la solución óptima. El proceso concluye cuando no es posible mejorar dicha solución, partiendo del valor de la función objetivo, este método permite maximizar o minimizar.

Para realizar los cálculos es necesario tomar en cuenta los siguientes requerimientos:

- a) Definir claramente la función objetivo
- b) Definir las variables de decisión, que se representan en forma ecuaciones y desigualdades
- c) Identificar las restricciones o limitaciones y expresarlas matemáticamente en forma de inecuaciones.

#### 1.3.4.1 Maximización

Es el procedimiento donde los factores, variables de decisión y restricciones, dan como resultado la maximización de la función objetivo, el signo que se debe utilizar para indicar que se refiere a maximizar es " $\leq$ ", esto indica que las restricciones deben ser menores o iguales a los requerimientos establecidos. Al momento de trabajar estos problemas, el signo debe ser homogéneo en todas

las restricciones. Para la maximización es importante también hacer notar que debe agregarse una variable de holgura, a cada inecuación, cuando esta se convierte en ecuación, esta representa el recurso no utilizado en el proceso.

#### 1.3.4.2 Minimización

Es un procedimiento algebraico que sirve para encontrar una combinación de las variables de decisión y que permite obtener un mínimo de la función objetivo de interés, es el procedimiento donde los factores, las variables de decisión y las restricciones dan como resultado la solución óptima con la característica de minimizar, el signo que debe utilizarse es “≥”, para todas las restricciones, el signo debe ser homogéneo para todos los requerimientos y dar solución al planteamiento del problema, esta característica indica, que las restricciones deben ser mayores o iguales a los requerimientos establecidos, para cumplir con la función a minimizar.

En la mayoría de los problemas de la vida real, las variables de decisión representan cantidades físicas, por lo que no deben ser negativas. La solución factible es el valor que satisface todas las restricciones, cuando todas las variables asumen valores no negativos, en este momento la solución es óptima.

El planteamiento esquemático para problemas de minimización es el siguiente:

$$\text{FO: Min } Z = p_1x_1 + p_2x_2 + \dots + p_nx_n$$

$$\text{Sujeta a: } a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1n}x_n \geq C_1$$

$$a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2n}x_n \geq C_2$$

$$\begin{array}{cccc} \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \end{array}$$

$$a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \dots + a_{mn}x_n \geq C_m$$

El signo “≥” debe ser homogéneo para todas las desigualdades, si hubiese alguna con signo diferente se debe multiplicar todas la desigualdades por -1 para cambiarle la forma del signo.

$$a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1n}x_n \leq C_1 \quad (-1) \quad \text{esto entonces da}$$

$$a_{11}x_1 - a_{12}x_2 - \dots - a_{1n}x_n \geq -C_1$$

Estructura de la matriz inicial y su transpuesta

Matriz inicial así:

$$\left( \begin{array}{ccc|c} a_{11} & a_{12} \dots a_{1n} & & C_1 \\ a_{21} & a_{22} \dots a_{2n} & & C_2 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ a_{m1} & a_{m2} \dots a_{mm} & & C_m \\ \hline P_1 & P_2 \dots P_n & & \end{array} \right)$$

Matriz transpuesta queda estructurada de la siguiente forma:

$$\left( \begin{array}{ccc|c} a_{11} & a_{21} \dots a_{m1} & & P_1 \\ a_{12} & a_{22} \dots a_{m2} & & P_2 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ a_{1n} & a_{2n} \dots a_{mn} & & P_n \\ \hline C_1 & C_2 \dots C_m & & \end{array} \right)$$

### Estructura del primer tablero símplex

$R_1$	$R_2$	$R_3$	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$Z$
$a_{11}$	$a_{21}$	$a_{31}$	1	0	0	$P_1$
$a_{12}$	$a_{22}$	$a_{32}$	0	1	0	$P_2$
$a_{13}$	$a_{23}$	$a_{33}$	0	0	1	$P_3$
$-C_1$	$-C_2$	$-C_3$	0	0	0	0

Donde:

$X_n$  = Variable de decisión.

$A$  = Coeficiente de las desigualdades.

$C$  = Constante o valor del lado derecho de la desigualdad.

$P$  = Indicadores de función objetivo.

$R$  = Restricciones.

#### 1.4 Pasos para la minimización por el método símplex

##### Paso 1

##### Identificar los datos

Los datos se obtienen de la recopilación y son útiles en la definición del problema, que permiten ser estudiados y analizados, para poder determinar el método adecuado a implementar, el modelo matemático que es fundamental para determinar la solución.

a) Objetivo a alcanzar

Es el objetivo que se pretende alcanzar al aplicar el método (en este caso minimizar)

b) Variables de decisión

Estas representan las opciones que tiene bajo control la persona encargada de tomar decisiones, también se dice que son incógnitas que deben calcularse al resolver el método, deben llevar signo  $\geq$ .

Las variables son números reales mayores o iguales a cero  $X_1 \geq 0$

c) Restricciones

Son las condiciones que es necesario satisfacer, estas pueden ser de no negatividad, es decir que garanticen que ninguna variable de decisión sea negativa y estructurales ó sea que dan a conocer la limitación que se tiene de los recursos.

Paso 2

Planteamiento del problema

“La forma tabular del método simplex registra solo la información esencial a saber: 1) los coeficientes de las variables, 2) las constantes del lado derecho de la ecuación y 3) la variable básica que aparece en cada ecuación. Esta forma evita tener que escribir los símbolos de las variables de cada ecuación, pero es más importante el hecho de que permite hacer hincapié en los números que usan en los cálculos aritméticos y registrarlos en forma muy compacta” ( 5:17 )



Restricciones	A	B	C	Disponibilidad	Signo
Máquina 1	$a_{11}$	$a_{12}$	$a_{13}$	$d_1$	$\geq$
Máquina 2	$a_{21}$	$a_{22}$	$a_{23}$	$d_2$	$\geq$
Máquina 3	$a_{31}$	$a_{32}$	$a_{33}$	$d_3$	$\geq$
Costo	$c_1$	$c_2$	$c_3$		

Fuente: Elaboración propia

### Paso 3

Definir la función objetivo en forma matemática

$$\text{FO: Min } Z = C_1 + C_2 + C_3$$

### Paso 4

Definir las restricciones en forma de desigualdad

Después de plantear el problema se deben establecer las restricciones en forma de desigualdad para darle solución al método simplex, se establece la relación entre dos expresiones que no son iguales, para lo cual se usa el signo “ $\geq$ ”.

$$1) a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + a_{13}x_3 \geq d_1$$

$$2) a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + a_{23}x_3 \geq d_2$$

$$3) a_{31}x_1 + a_{32}x_2 + a_{33}x_3 \geq d_3$$

$$4) x_1 ; x_2 \ \& \ x_3 \geq 0 \rightarrow \text{no negatividad}$$

### Paso 5

Formar la matriz inicial, utilizando los coeficientes y constantes de las desigualdades, además incluir los coeficientes de la función objetivo

$$\left( \begin{array}{ccc|c} a_{11} & a_{12} & a_{13} & d_1 \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & d_2 \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & d_3 \\ \hline C_1 & C_2 & C_3 & \end{array} \right)$$

Paso 6

Transponer la matriz

$$\left( \begin{array}{ccc|c} a_{11} & a_{21} & a_{31} & C_1 \\ a_{12} & a_{22} & a_{32} & C_2 \\ a_{13} & a_{23} & a_{33} & C_3 \\ \hline d_1 & d_2 & d_3 & Z \end{array} \right)$$

Paso 7

Construir el primer tablero simplex, con los valores de la matriz transpuesta, agregarle una matriz identidad, entre la penúltima y última columna de la matriz transpuesta.

R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	Z
a <sub>11</sub>	a <sub>21</sub>	a <sub>31</sub>	1	0	0	C <sub>1</sub>
a <sub>12</sub>	a <sub>22</sub>	a <sub>32</sub>	0	1	0	C <sub>2</sub>
a <sub>13</sub>	a <sub>23</sub>	a <sub>33</sub>	0	0	1	C <sub>3</sub>
d <sub>1</sub>	d <sub>2</sub>	d <sub>3</sub>	0	0	0	Z

## Paso 8

Cambiarle el signo a los elementos del último renglón

## Paso 9

Determinar la columna pivote

Para identificar la columna pivote, se busca el menor valor o sea el valor más negativo de la última fila del tablero.

## Paso 10

Encontrar el elemento pivote

Para encontrar el elemento pivote se divide cada uno de los valores de la columna de constantes (C), entre los valores correspondientes a la columna pivote, no se pueden tomar en cuenta los valores negativos, ni ceros, el elemento pivote es el menor cociente positivo.

Cuando hay dos resultados iguales, se puede tomar cualquiera de ellos.

## Paso 11

Convertir el elemento pivote en uno

Para ello se multiplica el inverso del elemento pivote por cada elemento de la fila correspondiente (fila del elemento pivote) y los resultados se colocan en la fila correspondiente del siguiente tablero, llamada fila pivote, y así se continua con el resto de valores de la columna pivote.

## Paso 12

Convertir en cero los valores restantes de la columna pivote

Para realizar este proceso se multiplica el elemento a convertir en cero, con signo cambiado, por cada elemento de la fila pivote y a los resultados se le suma

el elemento correspondiente de la fila en donde se ubica el elemento a convertir en cero, del tablero anterior.

Si todos los elementos del último renglón del tablero son positivos o ceros, este da la solución óptima, de lo contrario repetir los pasos 9, 10, 11 y 12 hasta lograr que todos los elementos cumplan con la condición.

#### Paso 13

Darle valor a las variables de decisión con los resultados obtenidos en el último tablero.

El valor de cada variable de decisión se localiza en el último renglón, en el lugar que ocupaba la matriz identidad y el valor de Z se encuentra en la intersección de la última fila y la última columna del tablero.

#### Paso 14

Comprobación en la función objetivo

Consiste en sustituir las variables por los valores de la solución óptima

#### Paso 15

Comprobar los resultados en las restricciones

Es necesario comprobar las restricciones para verificar si cumplen con las condiciones, sustituyendo las variables de decisión por los valores de la solución óptima.

De igual forma se sustituyen los valores de las otras dos ecuaciones.

## Paso 16

### Respuesta

Se da la conclusión para saber cuál es la combinación correcta y minimizar el costo que se espera.

## 1.5 El Calzado en Guatemala

### 1.5.1 Definición

El término calzado se utiliza para designar todo aquel elemento que puede ser utilizado para vestir y proteger los pies, del frío, del calor y también de la suciedad, de las posibles lastimaduras y, además, para embellecerlo y darle estilo.

### 1.5.2 Historia

La piel ó cuero se ha utilizado, desde el inicio de la humanidad para proteger los pies y también el resto del cuerpo, de allí surge la actividad industrial del cuero, que primeramente fue artesanal. En la cual la piel la obtenían de los animales que cazaban .La piel la usaban de manera natural, razón por la que se deterioraba muy rápido. Y por ello se vieron obligados a buscar formas para conservar el cuero en mejores condiciones para que fuera más durable.

En Guatemala la actividad manufacturera de la piel ó cuero se inició aproximadamente en la época precolombina, pues los habitantes de entonces lo usaban para cubrir no solo los pies, también el cuerpo, era prácticamente su vestimenta, así se protegían de las inclemencias del tiempo, de los animales y de otras personas. En el inicio se usó el calzado tipo sandalia.

## 1.6 Empresa

La empresa es una organización social que realiza un conjunto de actividades y utiliza una gran variedad de recursos (financieros, materiales, tecnológicos y humanos), para lograr determinados objetivos, como la satisfacción de una necesidad o deseo de su mercado meta con la finalidad de lucrar o no; y que es constituida a partir de conversaciones específicas basadas en compromisos mutuos entre las personas que la conforman.

### 1.6.1 Empresa Industrial

Industria se considera como el conjunto de actividades productivas que el hombre realiza de un modo organizado con el apoyo de máquinas y herramientas.

La principal función de la empresa industrial es la producción de bienes a través de la transformación o extracción de materias primas.

#### Definición

La empresa industrial es una asociación de personas que unen sus capitales ó industrias, es decir, su dinero, la fuerza de trabajo y capacidad personal de los socios. Emprenden operaciones mercantiles y tienen participación de sus capitales a través de la venta de sus productos.

## **CAPÍTULO II**

### **2.1 Generalidades de la Empresa**

La empresa motivo de estudio se encuentra ubicada en la zona 6 del municipio de Mixco del departamento de Guatemala.

Inició sus operaciones siendo una empresa individual hace 35 años, se dedicaba a comprar y vender calzado, después de cinco años de funcionamiento, se unió a otra persona con la que decidió formar una sociedad y así se iniciaron las operaciones de la nueva empresa, en la se dedicaron a la fabricación y comercialización de calzado para hombre, en tallas para niño, juvenil y de caballero un pequeño local ubicado en la colonia La Florida zona 19 del municipio de Guatemala del departamento de Guatemala. Allí permanecieron durante 12 años, luego de transcurrido este tiempo, la sociedad se disolvió.

La fábrica volvió a ser una empresa individual, continuó operaciones, tanto fabriles como comerciales y se trasladó a la dirección donde se encuentra actualmente

#### **2.1.1 Actividad Económica**

Se dedica a la fabricación y comercialización de calzado, para personas de sexo masculino, en las categorías de niño, juvenil y de caballero.

La empresa mantiene la preocupación constante de ofrecer calzado de alta calidad, que sea cómodo y además que su costo sea accesible a los consumidores, para ello se contrata a trabajadores que llenen los requerimientos necesarios para que realicen sus tareas de manera eficiente.

### 2.1.2 Distribución

Para llevar a cabo la comercialización del calzado, este se distribuye en establecimientos de prestigio de la capital, pero especialmente en los departamentos.

La venta del producto se realiza por medio de tres rutas, una en la costa sur, una en el occidente del país y la otra en el departamento de Jutiapa en el oriente del país, que cubre también el departamento del Petén.

La distribución del producto se lleva a cabo por pedidos previos. El calzado está orientado a personas de clase media baja.

Al inicio, para dar a conocer la marca, primero el calzado se vendió a personas conocidas allegadas y a familiares cercanos, luego se hicieron calcomanías, después publicaron el producto por medio de rótulos grandes, actualmente ya es un producto conocido y continua cada vez más ganando terreno en el mercado nacional.

### 2.1.3 Administración

La administración de la empresa está a cargo del dueño, quien se encarga de diseñar, dirigir, coordinar, asignarle a cada colaborador sus atribuciones; así como, de controlar que los planes de trabajo se realicen, para que la empresa pueda alcanzar sus objetivos. También como parte de sus atribuciones debe encargarse de velar por mantener y mejorar la calidad del producto que ofrece, para satisfacer las exigencias de los clientes. Finalmente debe definir las estrategias de venta para abastecer adecuadamente sus puntos de venta.

### 2.2 Proceso de producción

Para la elaboración del calzado es necesario contar con cierto tipo de material, el que se pretende aprovechar de la mejor forma posible, aplicando la



programación lineal (método simplex, minimización), así como llevar a cabo en ciertos departamentos de producción.

### 2.2.1 Materiales

En la elaboración del calzado la empresa usa diferentes materiales, que son necesarios para dejar el producto terminado y disponible para la venta, siendo estos:

- Piel
- Forro
- Espuma
- Forro firenz y forro galleta
- Retacón
- Hilo B69 e hilo Bron
- Suela
- Pegamento blanco
- Chinchas, maskintape, velcro, etiquetas, termoliester
- Cajas para empaque

### 2.2.2 Mano de obra

- Mano de obra
- Pago a los empleados del área administrativa y de ventas

### 2.2.3 Administrativos

- Agua, luz, teléfono y vigilancia
- Mantenimiento de maquinaria

#### 2.2.4 Humanos

Todas las personas que intervienen en la empresa, el gerente general, el personal administrativo, los colaboradores de la fábrica y el personal de servicio y el personal de seguridad.

#### 2.2.5 Físicos

- Terreno
- 1 planta
- 1 espacio para máquina de cocer
- 1 bodega
- 1 espacio para ensuelar
- 1 espacio para empacar
- 1 vehículo
- 3 computadoras
- 3 impresoras
- 2 teléfono fijos

#### 2.3 Pasos necesarios para la elaboración del calzado

Se dan varias etapas que son necesarias para la elaboración del calzado, desde su inicio, hasta disponer del producto terminado.

- Entrega de materiales

Como parte inicial del proceso, la persona encargada de la bodega, hace entrega de los materiales, a cada uno de los trabajadores.



- Corte

El corte se hace según el número del calzado, ya sea de niño, de joven o de caballero y de acuerdo a la cantidad de calzado que hayan pedido.

El cuero generalmente lo compran por pie, el forro lo adquieren por yarda y la espuma por plancha.



- Preparado I

Se perfora, se marca para ensamblar piezas, se sella para poner la marca en el talón.



- Desvaste

Consiste en desgastar la orilla para que se pueda cocer con facilidad



- Preparado II

Cuando las piezas han sido desgastadas se ensamblan las palas, el talón y las traseras.



- Costura

Como ya se desbastó y se prepararon las distintas partes se procede a cocer las palas, el forro y las trasera. La trasera se realiza en máquina con dos agujas, para que la costura quede doble y los platos se cosen en máquina de una aguja. Las costuras que se hacen de adorno necesitan hilo más grueso.



- Preparado III

Se realiza el enguate, se le pone la espuma por dentro y se voltea el forro, para darle forma y armado



- Montado

En este caso se empasta la talonera y la puntera con tela de punta, se coloca plantilla de cartón fibratex, se busca la horma del estilo del zapato que se está trabajando y se le coloca con un herraje, se le aplica pegamento a toda la plantilla en la orilla, se monta el corte y después de cardarlo, proceso que consiste en abrir el forro de la piel para echarle pegamento blanco y pegamento a la suela, se une las piezas y se colocan en una máquina que se llama pegadora de bolsa o de tubo, se saca de la horma y se pasa por otra máquina que se llama vaporizador para templar el cuero.



- Ensúelado completo

El zapato está preparado para que se pueda coser la suela, afinar la orilla, colocarle el retacón, y darle los toques finales.



- Terminado

Se le quitan los hilos que tiene en exceso, se limpian los restos de goma, se le coloca la plantilla, se le aplica termolustre o pasta y se le da el brillo necesario.



- Empacado

El calzado está totalmente terminado, se coloca en su caja, listo para ser distribuido, en ella se indica el número del zapato, el color, si es de niño, juvenil o de caballero y se envía a su destino final.



## 2.4. Recolección de información

### 2.4.1 Metodología

Para llevar a cabo la investigación se usó la metodología que se describe a continuación, fue utilizada para identificar los datos necesarios e importantes y así obtener la información.

### 2.4.2 Método científico

Se usó para recabar la información, haciendo uso de las siguientes fases: indagatoria en cada una de las secciones de la empresa para recolectar la información necesaria, lo que permitió conocer las actividades que realizan los trabajadores para llevar a cabo su trabajo en el proceso de producción, la fase demostrativa para verificar los datos obtenidos y así comprobar la hipótesis y la última fase es la expositiva que se aplicará en la presentación final del trabajo.

### .2.4.3 Método Inductivo – Deductivo

Este método fue utilizado en la realización de la investigación, siguiendo el siguiente procedimiento: se realizó un estudio de la situación de la empresa, se verificó el procedimiento en la fabricación del calzado, como deducción del razonamiento general a uno en particular, lo que integra el análisis.



Para llevar a cabo estos métodos se realizó la técnica de la observación, primero se realizó un recorrido general por toda la empresa, luego más detalladamente por cada una de las secciones, sin preguntar nada para conocer el proceso de producción.

La información obtenida anteriormente proporcionó datos que permiten identificar datos relevantes sobre la situación de la empresa, formular el problema que afecta el costo de producción de la misma y así poder proponer una solución eficiente.

Por medio de la información administrativa se obtuvo como resultado, conocer cómo se maneja la materia prima, la forma en que se realiza el pago de mano de obra; así como, los gastos administrativos y de ventas, todos ellos forman el costo total del producto.

Como resultado de la investigación se obtuvieron los siguientes datos:

Cuadro 1

Costo en quetzales de la materia Prima para la fabricación de un par de zapatos, en una fábrica de calzado ubicada en zona 6 del municipio de Mixco, durante el mes de junio 2015

No.	Materia prima	Calzado niño	Calzado juvenil	Calzado de caballero
1	Piel	Q. 25.40	Q. 30.50	Q. 31.50
2	Forro	Q. 8.10	Q. 10.50	Q. 11.50
3	Espuma	Q. 4.32	Q. 7.50	Q. 11.07
4	Caja de empaque	Q. 2.90	Q. 3.10	Q. 3.10
5	Otros	Q. 7.60	Q. 9.20	Q. 10.32
Total		Q. 48.32	Q. 60.80	Q. 63.27

Fuente: Investigación de campo

Cuadro 2

Costo en quetzales de la mano de Obra para la fabricación de un par de zapatos, en una fábrica de calzado ubicada en zona 6 del municipio de Mixco, durante el mes de junio 2,015

No.	Mano de obra	Calzado de niño	Calzado juvenil	Calzado de caballero
1	Corte	Q. 1.00	Q. 3.10	Q. 3.45
2	Preparado	Q. 2.25	Q. 5.55	Q. 7.30
3	Desvaste	Q. 0.70	Q. 3.27	Q. 2.50
4	Costura	Q. 1.00	Q. 1.50	Q. 2.25
5	Montado	Q. 1.25	Q. 3.10	Q. 4.30
6	Ensuelado	Q. 1.20	Q. 2.50	Q. 4.75
7	Terminado y empaque	Q. 2.30	Q. 3.00	Q. 5.00
Total		Q. 9.70	Q. 22.02	Q. 29.55

Fuente: Investigación de campo

Cuadro 3

Costo en quetzales de Administración para la fabricación de un par de zapatos, en una fábrica de calzado en zona 6 del municipio de Mixco, durante el mes de junio 2,015

No.	Gastos	Calzado de niño	Calzado juvenil	Calzado de caballero
1	Salarios	Q. 3.40	Q. 3.40	Q. 3.40
2	Vigilancia	Q. 0.08	Q. 0.08	Q. 0.08
3	Agua, luz y teléfono	Q. 1.20	Q. 1.20	Q. 1.20
Total		Q. 4.68	Q. 4.68	Q. 3.68

Fuente: Investigación de campo

Cuadro 4

Costo en quetzales para la comercialización de un par de zapatos, en una fábrica de calzado ubicada en zona 6 del municipio de Mixco, durante el mes de junio 2,015

No.	Gastos	Calzado de niño	Calzado juvenil	Calzado de caballero
1	Vendedor	Q. 2.50	Q. 2.50	Q. 2.50
Total		Q. 2.50	Q. 2.50	Q. 2.50

Fuente: Investigación de campo

Cuadro 5

Costo total en quetzales para la fabricación de un par de zapato, en una fábrica de calzado ubicada en zona 6 del municipio de Mixco, durante el mes de junio 2,015

No.	Gastos	Calzado de niño	Calzado juvenil	Calzado de caballero
1	Materia prima	Q. 48.32	Q. 60.80	Q. 63.27
2	Mano de obra	Q. 9.50	Q. 22.02	Q. 29.55
3	Gastos de Admón.	Q. 4.68	Q. 4.68	Q. 4.68
4	Gastos de ventas	Q. 2.50	Q. 2.50	Q. 2.50
Total		Q. 65.00	Q. 90.00	Q. 100.00

Fuente: Elaboración propia

## CAPÍTULO III

### 3. Aplicación del modelo Matemático – Estadístico

#### 3.1 Objetivo

Determinar la efectividad del mejor aprovechamiento de los recursos, en la producción de calzado, haciendo uso de la programación lineal, método simplex, minimización.

#### 3.2 Desarrollo del modelo

##### 3.2.1 Identificación de datos

Variables de decisión

Son las incógnitas que deben calcularse para resolver el modelo Matemático con “Xn”, que identifica la variable quedando de la siguiente manera:

$X_1$ ;  $X_2$  &  $X_3$

Que representan

$X_1$  = calzado de niño

$X_2$  = calzado juvenil

$X_3$  = calzado de caballero

Restricciones:

Son los requerimientos necesarios para la formulación del modelo y no excederse en la aplicación para optimizar los resultados, os que se representan así:

a) Cuero

b) Forro

c) Espuma

### 3.3 Ejecución del modelo Matemático – Estadístico

Paso 1

Objetivo: minimizar costos de fabricación

Variables de decisión

$X_1$  = calzado de niño

$X_2$  = calzado juvenil

$X_3$  = Calzado de caballero

Restricciones:

a) cuero

b) forro

c) espuma

## Paso 2

### Planteamiento del problema

$X_1$ = niño

$X_2$ = joven

$X_3$ = Caballero

Restricciones	Por par de zapatos			Disponibilidad	Signo
	$X_1$	$X_2$	$X_3$		
Cuero	1.3	2	2.5	161 pies	$\geq$
Forro	1	1.7	1.87	125 pies	$\geq$
Espuma	0.29	0.34	0.38	30 pies	$\geq$
Costo	65	90	100		

Función Objetivo:

$$FO = \text{Min } Z = 65X_1 + 90X_2 + 100X_3$$

Desigualdades:

- $1.3X_1 + 2X_2 + 2.5X_3 \geq 161$
- $1X_1 + 1.7X_2 + 1.87X_3 \geq 125$
- $0.29X_1 + 0.34X_2 + 0.38X_3 \geq 30$
- $X_1 + X_2 + X_3 \geq 0$

Matriz Inicial

$$\left( \begin{array}{ccc|c} 13/10 & 2 & 5/2 & 161 \\ 1 & 17/10 & 187/100 & 125 \\ 29/100 & 17/50 & 19/50 & 30 \\ \hline 65 & 90 & 100 & 0 \end{array} \right)$$

Transpuesta de la matriz inicial

$$\left( \begin{array}{ccc|c} 13/10 & 1 & 29/100 & 65 \\ 2 & 17/10 & 17/50 & 90 \\ 5/2 & 187/100 & 19/50 & 100 \\ \hline 161 & 125 & 30 & 0 \end{array} \right)$$

Primer Tablero

R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	Z
13/10	1	29/100	1	0	0	65
2	17/10	17/50	0	1	0	90
5/2	187/100	19/50	0	0	1	100 (2/5)
-161	-125	-30	0	0	0	0



Columna pivote

Para determinar la columna pivote (CP) y se divide cada uno de los valores de la columna de constante ( C ), entre los valores correspondientes de la columna pivote, considerando que no se pueden tomar en cuenta los valores negativos y los ceros, el elemento pivote se considera el valor más negativo de la fila de la función objetivo.

Elemento pivote

Fila 1)  $100 \div 5/2 = 40$

Fila 2)  $98 \div 2 = 45$

Fila 3)  $65 \div 13/10 = 50$

$100 \div 5/2 = 40,$  ←

Es el menor cociente positivo, por lo que se considera el elemento pivote

Segundo Tablero

R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	Z
0	69/2500	231/2500	1	0	-13/25	13
0	51/250	9/250	0	1	-4/5	10
1	187/250	19/125	0	0	322/5	40(-2)(-13/10)(161)
0	-1143/250	-691/125	0	0	322/5	6440

↑  
Columna Pivote



Fila 1)  $13 \div 231/2500 = 140$

Fila 2)  $10 \div 9/250 = 277$

Fila 3)  $40 \div 19/125 = 263$

$13 \div 231/2500 = 140$ , es el menor cociente positivo, es el elemento pivote

Tercer Tablero

R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	Z
0	23/77	1	2500/231	0	-1300/231	$32500/231 - 9/250 - 19/125 + 691/125$
0	372/1925	0	-30/77	1	-46/77	$380/77 (1925/372)$
1	541/770	0	380/231	0	290/231	4300/231
0	-2.9213	0	820/231	0	7690/231	7217.75

↑  
Columna pivote

Fila 1)  $32500/231 \div 23/77 = 471$

Fila 2)  $380/77 \div 372/1925 = 25$

Fila 3)  $4300/231 \div 541/770 = 26$

$380/77 \div 372/1925 = 25$ , es el menor cociente positivo, es el elemento pivote

Cuarto Tablero

R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	Z
0	0	1	2875/4774	-575/372	-875/186	133.06
0	1	0	-125/62	1925/372-575/186		2375/93(-23/77)(-541/770)(-73/25)
1	0	0	153/50	-2705/7444	25/124	17.94
0	0	0	53.94	15.11	24.26	7291

Como ya todos los valores de los elementos del último reglón son ceros y positivos, éste es el tablero que da la solución óptima. Darle valores a las variables de decisión

“X<sub>n</sub>” y a “Z”

$$X_1 = 53.94$$

$$X_2 = 15.11$$

$$X_3 = 24.26$$

Comprobar los resultados de la función objetivo:

$$\begin{aligned} \text{FO Min } Z &= 65X_1 + 90X_2 + 100X_3 \\ &= 65(53.94) + 90(15.11) + 100(24.26) \\ &= 3506.10 + 1359.90 + 2426 = 7292 \end{aligned}$$

Comprobar los resultados en las desigualdades restrictivas

$$13/10X_1 + 2X_2 + 5/2X_3 \geq 161$$

$$13/10 ( 53.94 ) + 2 ( 15.11 ) + 5/2 ( 24.26 ) \geq 161$$

$$70.12 + 30.22 + 60.65 \geq 161$$

$$161 \geq 161$$

$$1X_1 + 17/10X_2 + 187/100X_3 \geq 125$$

$$1 ( 53.94 ) + 17/10 ( 15.11 ) + 187/100 ( 24.26 ) \geq 125$$

$$53.94 + 25.687 + 45.3663 \geq 125$$

$$125 \geq 125$$

$$29/100X_1 + 17/50X_2 + 19/50X_3 \geq 30$$

$$29/100 ( 53.94 ) + 17/50 ( 15.11 ) + 19/50(24.26) \geq 30$$

$$15.64 + 5.1374 + 9.2188 \geq 30$$

$$30 \geq 30$$

$$X_1; \quad X_2 \quad \& \quad X_3 \quad \geq 0$$

$$53.94; \quad 15.11 \quad \& \quad 24.26 \quad \geq 0$$

Se desarrolló el modelo matemático estadístico simplex, se comprobaron las restricciones, la función objetivo y se estableció una combinación óptima, donde se expresa que lo ideal es fabricar 54 pares de zapatos de niño, 15 pares de zapatos juveniles y 24 pares de zapatos de caballero para minimizar los costos de producción.

## **CONCLUSIONES**

1. Se comprobó que la empresa objeto de estudio no aplica ningún modelo matemático – estadístico que permita una combinación óptima de materias primas en la elaboración del calzado para poder aprovechar los recursos.
2. Que la aplicación del modelo, matemático simplex, sí ayudó a encontrar la combinación óptima de materiales necesarios para la fabricación del calzado, con lo que permite la minimización de costos.
3. Se determinó que para mejorar el proceso en la toma de decisiones, es necesaria la aplicación de la programación lineal como herramienta.

## RECOMENDACIONES

1. Utilizar el modelo matemático – estadístico para mejorar la toma de decisiones en cuanto a la combinación adecuada de materiales en la elaboración del calzado y así lograr el objetivo que es la minimización en el costo de producción
2. Aprovechar los resultados que se obtuvieron del modelo matemático – estadístico para la mejor distribución de la materia prima en la elaboración del calzado.
3. Que la empresa pueda utilizar este modelo matemático – estadístico como una herramienta que le permita tomar decisiones adecuadas, supervisando periódicamente para adaptarlo a la situación de la empresa.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Charles E. Bonini, Warren H. Hausman, Harold Bierman Jr. Análisis cuantitativos para los negocios. Novena edición. McGraw Hill. 525 p.
2. Eduardo VicensSalort. 1997. Métodos cuantitativos. España. Editorial Universitaria, politécnica Valencia. 107 p.
3. Eppen G.D. y Gould F.J. 1987 Investigación de Operaciones en la Ciencia Administrativa. México Prentice Hall.
4. Frederick Hiller, Gerald J. Heberman. 1998. Introducción a la investigación de operaciones. 8a. edición. McGraw Hill. 1066 p.
5. Hamdy A. Taha, University of Arkansas, Fayetteville, sexta edición cap1
6. Lekrajewski, Larry Titzman, Manoj Malhora, 8a Edición Suplemento E.
7. Lieberman H. 2006. Introducción a la investigación de operaciones 8va. Ed. México Interamericana Editores de C.V.
8. Piloña Ortiz Gabriel Alfredo. 2002. Métodos y Técnicas de Investigación Documental y de Campo.
9. Roberto J. Thierauf, Richard A. Groose, Editorial Limusa México 2007
10. Rodas de Lopez Iris. 2001. Estadística Moderna. 2da. Edición. 217
11. Thierauf Robert J, "Toma de decisiones por medio de investigación de operaciones", México Limusa 2008 p.23

# **ANEXOS**



## ANEXO 1

### Proceso de Producción















## ANEXO 2

Producto Terminado



Zapato de niño



Zapato juvenil



Zapato de caballero