

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



**“APLICACIÓN DEL MÉTODO SIMPLEX PARA LA  
PROGRAMACIÓN DE LA PRODUCCIÓN EN UNA  
FÁBRICA DE CALZADO UBICADA EN LA CIUDAD  
CAPITAL DE GUATEMALA”**

**JONATHAN JOSUÉ MORALES CASTELLANOS**

**ADMINISTRADOR DE EMPRESAS**

**GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2016**

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

**“APLICACIÓN DEL MÉTODO SIMPLEX PARA LA  
PROGRAMACIÓN DE LA PRODUCCIÓN EN UNA  
FÁBRICA DE CALZADO UBICADA EN LA CIUDAD  
CAPITAL DE GUATEMALA”**

TESIS

PRESENTADA A LA JUNTA DIRECTIVA  
DE LA FACULTAD DE CIENCIAS ECONÓMICAS

POR

**JONATHAN JOSUÉ MORALES CASTELLANOS**

PREVIO A CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**ADMINISTRADOR DE EMPRESAS**

EN EL GRADO ACADÉMICO DE

**LICENCIADO**

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2016

**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 II:	Lic. Carlos Alberto Hernández Gálvez
VOCAL III:	Lic. Juan Antonio Gómez Monterroso
VOCAL IV:	P.C. Marlon Geovani Aquino Abdalla
VOCAL V:	P.C. Carlos Roberto Turcios Pérez

**PROFESIONALES QUE PRACTICARON**  
**LOS EXÁMENES DE ÁREAS PRÁCTICAS BÁSICAS**

Área Matemática - Estadística	Lic. Oscar Haroldo Quiñónez Porras
Área Administración - Finanzas	Lic. Jaime René Campos Muralles
Área Mercadotecnia - Operaciones	Licda. Elvia Zulena Escobedo Chinchilla

**PROFESIONALES QUE PRACTICARON**  
**EL EXAMEN PRIVADO DE TESIS**

<b>PRESIDENTE:</b>	Lic. Oscar Haroldo Quiñónez Porras
<b>SECRETARIA:</b>	Licda. María Carolina Sotoj Ortega
<b>EXAMINADOR:</b>	Lic. Oscar Ramiro Batres Chavarría

Guatemala, 5 de Mayo 2016

Licenciado  
Luis Antonio Suárez Roldan  
Decano  
Facultad de Ciencias Económicas  
Universidad de San Carlos de Guatemala  
Su Despacho

**Señor Decano:**

De conformidad con el nombramiento emanado de su decanatura, con fecha 31 de Marzo del 2016, en el que se me designa asesor de tesis del estudiante **Jonathan Josué Morales Castellanos**, carné **200712495**, con el tema **"APLICACIÓN DEL MÉTODO SIMPLEX PARA LA PROGRAMACIÓN DE LA PRODUCCIÓN EN UNA FÁBRICA DE CALZADO UBICADA EN LA CIUDAD CAPITAL DE GUATEMALA"**, 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 licenciado.

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 ECONÓMICAS, GUATEMALA,  
VEINTISEIS DE OCTUBRE DE DOS MIL DIECISÉIS.**

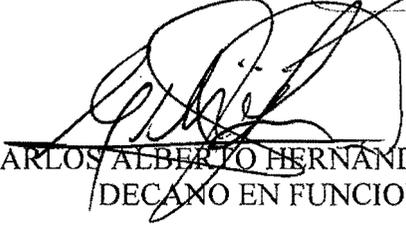
Con base en el Punto QUINTO, inciso 5.4, subinciso 5.4.1 del Acta 21-2016 de la sesión celebrada por la Junta Directiva de la Facultad el 18 de octubre de 2016, se conoció el Acta ADMINISTRACIÓN 102-2016 de aprobación del Examen Privado de Tesis, de fecha 26 de mayo de 2016 y el trabajo de Tesis denominado: "APLICACIÓN DEL MÉTODO SIMPLEX PARA LA PROGRAMACIÓN DE LA PRODUCCIÓN EN UNA FÁBRICA DE CALZADO UBICADA EN LA CIUDAD CAPITAL DE GUATEMALA", que para su graduación profesional presentó el estudiante **JONATHAN JOSUÉ MORALES CASTELLANOS**, autorizándose su impresión.

Atentamente,

**"ID Y ENSEÑAD A TODOS"**

  
DR. OSCAR ROLANDO ZETINA GUERRA  
SECRETARIO EN FUNCIONES



  
LIC. CARLOS ALBERTO HERNÁNDEZ GÁLVEZ  
DECANO EN FUNCIONES



m.ch

## **ACTO QUE DEDICO**

- A DIOS:** Por brindarme la sabiduría y paciencia para recorrer este camino y culminarlo con éxito.
- A MI MADRE:** Miriam Castellanos, por su amor, su sacrificio y apoyo incondicional que en todo momento me brindó. Madre este triunfo es para ti con mucho amor.
- A MIS HERMANAS:** Karla y Sara por fomentarme su espíritu de lucha y dedicación y ser partícipe de este camino del saber.
- A MIS SOBRINOS:** Braulio Víctor y María Victoria, que este triunfo sea ejemplo para sus vidas.
- A MI FAMILIA:** Mis tías Gladys y Dina por darme siempre su apoyo. A mis primos Javier, Lisbeth, Víctor y Viky por su confianza y motivación.
- A MIS AMIGOS:** Andrés López, Edgar Reyes y Elmer Lemus, con los cuales compartí este camino al éxito. Y a quien siempre me aconsejo y me brindo su ayuda José Héctor Rodríguez del Cid.
- A MIS ASERORES** Lic. Oscar Quiñónez, Lic. Víctor Castro y Licda. Elizabeth Solís, por guiarme y darme las directrices para ser el profesional que soy.
- A LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA:** Tricentenaria, casa de estudios que me dio los conocimientos necesarios para ser más competitivo.
- A EEGSA:** Empresa que ha permitido desarrollarme como profesional, y especialmente a las personas que me ayudaron a formarme dentro de la organización, Fredy Aceituno, Juan Esteban López, Lucrecia Castañeda, Maynor Contreras y Jaime Quiroz.
- A MIS AMIGOS DE LABORES** Los cuales también han sido parte fundamental en este triunfo, Levi Medina, Pedro Rivera, Julio Sierra, Juan Carlos Ramos, Carlos Cetino, Javier Campos y demás.

## ÍNDICE

Contenido	Página
INTRODUCCIÓN	i
CAPÍTULO I	
MARCO TEÓRICO	
MODELACIÓN MATEMÁTICA Y MÉTODO SIMPLEX DE PROGRAMACIÓN LINEAL	
1.1 Investigación de operaciones	1
1.2 Modelación de la investigación operativa	5
1.2.1 Modelación matemática	8
1.3 Programación lineal	12
1.3.1 Método gráfico	15
1.3.2 Método simplex	18
1.3.2.1 Métodos de solución	20
1.3.2.1.1 Procedimiento de solución del método simplex, manual	20
1.3.2.1.2 Procedimiento de solución del método simplex a través de la función Solver de Microsoft Excel	23
1.4 Proceso productivo de calzado	32
CAPÍTULO II	
DIAGNOSTICO DE LA EMPRESA OBJETO DE ANÁLISIS	
2.1 Generalidades de la empresa objeto de análisis	35
2.1.1 Filosofía empresarial	36
2.1.1.1 Misión	37
2.1.1.2 Visión	37
2.1.1.3 Valores	37
2.1.1.4 Políticas	37

<b>Contenido</b>	<b>Página</b>
2.2 Problemática de la empresa objeto de análisis	38
2.3 Tipo de calzado producido por la empresa en análisis	39
2.4 Inventarios disponibles de materia prima y estándares en la producción	39
2.5 Otras restricciones: mano de obra, presupuesto y demanda	40
2.6 Análisis del proceso de toma de decisiones actual en materia de programación de producción	42
<b>CAPÍTULO III</b>	
<b>APLICACIÓN DEL MÉTODO SIMPLEX DE PROGRAMACIÓN LINEAL</b>	
3.1 Objetivo general y específicos de la aplicación de la herramienta matemática	43
3.2 Identificación de las variables a utilizar en la programación lineal	43
3.3 Planteamiento del problema	45
3.3.1 Solución del problema por el método simplex	46
3.3.2 Determinación de la programación de la producción óptima y utilización de inventarios	57
3.2 Propuesta metodológica según método simplex	59
CONCLUSIONES	60
RECOMENDACIONES	62
BIBLIOGRAFÍA	64
ANEXOS	66

## ÍNDICE DE CUADROS

<b>No.</b>	<b>Contenido</b>	<b>Página</b>
1	Inventario de materia prima para la producción de zapato para niño, talla 35	40
2	Estándares de utilización de materiales en la producción de zapato para niño, talla 35	40
3	Tiempo disponible por departamento para la producción de un par de zapatos para, niño talla 35	41
4	Presupuesto para la producción de zapato para niño, talla 35	41
5	Demanda mínima por tipo de calzado para niño, talla 35	42

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>No.</b>	<b>Contenido</b>	<b>Página</b>
1	Abstracción de un modelo	8

## ÍNDICE DE ANEXOS

<b>No.</b>	<b>Contenido</b>	<b>Página</b>
1	Base de datos	67
2	Producción mensual 2015	70
3	Cálculos Matemáticos por el método simplex	71
4	Solución del método simplex a través del solver	100

## INTRODUCCIÓN

El presente análisis se llevó a cabo en una empresa dedicada a la fabricación de calzado, durante los meses de noviembre de 2015 a abril de 2016. La unidad de análisis se encuentra ubicada en la zona 5 de la ciudad capital de Guatemala.

El problema de la investigación se da por la falta de un modelo matemático-estadístico, para programar la producción, lo cual ha causado problemas como altos costos de operación y mantenimiento, falta de materiales o sobre stock de los mismos y mano de obra ociosa. Es importante mencionar que los procesos productivos manufactureros se caracterizan por la amplia gama de recursos utilizados en las operaciones, lo que revela la importancia de la programación de la producción, para una mejor utilización de los recursos disponibles y así obtener mejores resultados.

Bajo el contexto anterior, se propone la utilización del método simplex de programación lineal, como herramienta para fundamentar la programación de la producción de la empresa, en función de la maximización de las utilidades.

El documento está conformado de la siguiente manera: en el primer capítulo se presenta el marco teórico, que fundamenta la aplicabilidad de la herramienta matemática utilizada para solucionar el problema. En el segundo capítulo se encuentra el diagnóstico de la empresa objeto de análisis. En el tercer capítulo se aplica el modelo matemático, específicamente el método simplex; así como, su respectiva interpretación y fundamento. Por último, se encuentran las conclusiones, recomendaciones, la bibliografía de referencia y los anexos.

## **CAPÍTULO I**

### **MARCO TEÓRICO**

En este apartado se fundamentan los conceptos teóricos que sustentan la presente investigación.

### **MODELACIÓN MATEMÁTICA Y MÉTODO SIMPLEX DE PROGRAMACIÓN LINEAL**

En ciencias aplicadas, un modelo matemático es uno de los tipos de modelos científicos, que emplea algún tipo de formulismo matemático para expresar relaciones, proposiciones sustantivas de hechos, variables, parámetros, entidades y relaciones entre variables y/o entidades u operaciones, para estudiar comportamientos de sistemas complejos ante situaciones difíciles de observar en la realidad.

#### **1.1 Investigación de operaciones**

Los incrementos de las exigencias de la demanda, al considerar productos cada vez más diferenciados y segmentados, ha provocado un incremento en la complejidad de los sistemas productivos, un crecimiento importante del tamaño, capacidad, dificultad de planificación y éxito de las organizaciones, esto fundamentado con el paso de la historia, desde los pequeños talleres artesanales con procesos productivos sencillos y con poca especialización y división del trabajo, hasta las grandes corporaciones de miles de millones de dólares.

Una parte esencial y primordial del cambio, fue el aumento de la división y especialización del trabajo a nivel nacional e internacional, también los constantes cambios en la separación de las responsabilidades administrativas, especialmente influenciado por la globalización, a partir de las últimas décadas.

Esta situación ha provocado la existencia de problemas, como la dificultad de optimizar los recursos mediante la creación de sinergia (incremento de las acciones debido a que actúan conjuntamente) en los procesos productivos y del mejor aprovechamiento de los recursos disponibles; sin embargo, también han surgido una serie de esfuerzos para darles solución, como lo es la investigación de operaciones (en adelante IO).

La investigación operativa tiene sus orígenes precedentes a la revolución industrial, tomando en cuenta que muchos de los procesos productivos anteriores a esa época eran considerados ya procesos operativos metodológicos, es decir, que contaban con una serie de actividades previamente definidas, sin embargo, fue hasta la revolución donde surgió la necesidad del desarrollo científico de la IO, como propuesta de solución a los problemas surgidos en sistemas operativos más complejos o industrializados, caracterizados por un conjunto de recursos y actividades requeridas para la producción en serie.

A partir de la revolución industrial, y como vital importancia para adaptarse al cambio, se origina una segmentación funcional y geográfica de la administración, lo que da origen a la función ejecutiva o de integración de la administración para servir a los intereses del sistema como un todo. No obstante, “la investigación operativa tarda en desarrollarse en el campo de la administración industrial. El uso de la metodología científica en la industria se incorpora al iniciar los años 50, a partir de la 2da revolución industrial, propiciada por los avances de las comunicaciones y la computación, que sientan las bases para la automatización, y por sobre todo por el florecimiento y bienestar económico de ese período. Los primeros desarrollos de esta disciplina (IO) se refirieron a problemas de ordenamiento de tareas, reparto de cargas de trabajo, planificación y asignación de recursos en el ámbito militar en sus inicios, diversificándose luego, y

extendiéndose finalmente a organizaciones industriales, académicas y gubernamentales”. (8:3)

Las raíces de la IO pueden encontrarse incluso muchas décadas atrás, principalmente cuando se hicieron los primeros intentos por aplicar el método científico para administrar y solucionar problemas en la organización empresarial. Sin embargo, “el inicio de la actividad llamada investigación de operaciones es atribuible a ciertos servicios militares que se prestaron al inicio de la Segunda Guerra Mundial”. (2:1)

Esto se debe a que la economía durante la guerra exigía el uso racional de los recursos disponibles, asignándolos especialmente aquellas actividades en las que era urgente y necesario, para las distintas maniobras militares, buscando su óptima utilización de la manera más eficaz en cada operación. Por tal motivo, la administración militar formó equipos de científicos para que aplicaran el método a éste y a otros problemas estratégicos y tácticos. Dicho grupo de científicos fueron los primeros equipos de IO.

“Es posible identificar por lo menos otros dos factores que tuvieron gran importancia en el desarrollo de la IO durante este periodo. Uno es el progreso sustancial que se logró en el mejoramiento de las técnicas disponibles. Después de la guerra, muchos de los científicos que habían participado en equipos de IO o que tenían información sobre este trabajo, de lo cual resultaron avances importantes; un ejemplo sobresaliente es el método simplex, programación lineal, programación dinámica, teoría de colas y teoría de inventarios. Un segundo factor que dio gran impulso al desarrollo de este campo fue la revolución de las computadoras. El manejo eficaz de los complejos problemas inherentes a la IO casi siempre requiere un gran número de cálculos. Otro avance tuvo lugar en la década de los años ochenta, con el desarrollo de computadoras personales cada

vez más rápidas y avanzados paquetes de software para resolver problemas de IO". (2:2)

En la actualidad, la investigación de operaciones es aplicada en muchos ámbitos, más específicamente en los empresariales, debido a que la IO brinda una amplia gama de herramientas y técnicas útiles para fundamentar la toma de decisiones con base en la matemática y estadística. La IO es llamada la ciencia de la toma de decisiones, debido a que es el resultado de una importante intervención y contribución de diferentes profesiones, siendo la principal aplicación la técnica fundamental del modelamiento matemático.

En esta disciplina, investigación de operaciones, se destacan las siguientes características esenciales: "una fuerte orientación a la teoría de sistemas, la participación de equipos interdisciplinarios y la aplicación del método científico en apoyo a la toma de decisiones". (8:3) Bajo el contexto específico de la presente investigación, la IO es enfocada para la modelación matemática de problemas empresariales, específicamente de la producción en serie de bienes basados en estándares, lo cual, a través del método de programación lineal, dará soporte a las decisiones de la administración en la programación y planificación de la producción de calzado. La IO busca, a través de la modelación matemática, la optimización del uso de los recursos disponibles por la organización, buscando como principal objetivo la maximización de la utilidad y la minimización de los costos de operación.

Por último, la IO intenta encontrar una mejor solución -llamada solución óptima- para el problema en cuestión (se dice una mejor solución y no la mejor solución porque es posible que existan muchas soluciones que puedan considerarse como las mejores.) La meta es identificar el mejor curso de acción posible, aun cuando debe interpretarse con todo cuidado en términos de las necesidades reales de la administración.

## 1.2 Modelación de la investigación operativa

Existen tres preguntas principales que se deben plantear ante un problema de investigación operativa, las cuales son:

- a. ¿Cuáles son las alternativas de decisión? son razonable y compatiblemente definidas según el problema en cuestión, dichas alternativas en principio deben ser viables y contar con la lógica de la situación analizada, por ejemplo, si existe un problema de producción, en principio, la solución matemática no debe contener producciones negativas. Dichos planteamientos lógicos dan origen al segundo planteamiento,
- b. ¿Cuáles son las restricciones? La restricción representa la limitante lógica del problema analizado, en el ejemplo anterior representa la cantidad a producir de determinados bienes mayores o iguales a cero unidades. Por último,
- c. ¿Cuál es el criterio objetivo apropiado para evaluar las alternativas? Un criterio objetivo para evaluar las alternativas propuestas debe estar fundamentado en lo que se quiere lograr, por ejemplo, la maximización de las utilidades o la minimización de los costos. La alternativa que dé la utilidad más alta o el costo mínimo será necesariamente la mejor, según sea el caso.

“Una solución del modelo es factible si satisface todas las restricciones; es óptima si, además de ser factible, produce el mejor valor (máximo o mínimo) de la función objetivo. La conclusión es que la solución óptima de un modelo es mejor sólo para ese modelo. Si el modelo es una representación razonablemente buena del sistema real, entonces su solución también es óptima para la situación real”. (2:3)

Aunque lo anterior ilustra los tres componentes principales de un modelo de IO, los cuales son: alternativas, criterio objetivo y restricciones, las situaciones del mundo real difieren por los detalles de la construcción de cada componente y la solución del modelo resultante.

Es importante mencionar que en la IO no se cuenta con una técnica general única para resolver todos los modelos en la práctica. En su lugar, el tipo y complejidad del modelo matemático, necesariamente, determina la naturaleza del método de solución. Para dar respuesta a dichos planteamientos, el investigador debe seguir una serie de pasos flexibles, dado que no todos los problemas requieren del mismo análisis, en la aplicación del método científico que son, en su expresión más simple los siguientes:

- a. Planteo y análisis del problema: “Implica definir el alcance del problema investigado. Esta función debe ser realizada por todo el equipo de IO. El objetivo es identificar tres elementos principales del problema de decisión: (1) descripción de las alternativas de decisión; (2) determinación del objetivo del análisis, y (3) especificación de las limitaciones bajo las cuales funciona el sistema modelado”. (7:10)
- b. Construcción de un modelo: “La construcción del modelo implica un intento de transformar la definición del problema en relaciones matemáticas. Si el modelo resultante se ajusta a uno de los modelos matemáticos estándar, como la programación lineal, se suele obtener una solución utilizando los algoritmos disponibles. Por otra parte, si las relaciones matemáticas son demasiado complejas como para permitir la determinación de una solución analítica, el equipo de IO puede optar por simplificar el modelo, o bien considerar la simulación, si es lo apropiado”. (7:10)

- c. Deducción de la solución: “La solución del modelo es por mucho la más sencilla de todas las fases de IO porque implica el uso de algoritmos de optimización bien definidos. Un aspecto importante de la fase de solución del modelo es el análisis de sensibilidad. Tiene que ver con la obtención de información adicional sobre el comportamiento de la solución óptima cuando el modelo experimenta algunos cambios de parámetros. El análisis de sensibilidad es particularmente necesario cuando no se pueden estimar con precisión los parámetros del modelo. En estos casos es importante estudiar el comportamiento de la solución óptima en el entorno de los parámetros estimados”. (7:10)
- d. Prueba del modelo y evaluación de la solución: “La validez del modelo comprueba si el modelo propuesto hace en realidad lo que dice que hace, es decir, ¿predice adecuadamente el comportamiento del sistema que se estudia? Al principio, el equipo de IO debe estar convencido de que el resultado del modelo no contenga “sorpresas”. En otras palabras, ¿tiene sentido la solución?, ¿los resultados son intuitivamente aceptables? Del lado formal, un método común de comprobar la validez de un modelo es comparar su resultado con resultados históricos. El modelo es válido si, en condiciones de datos de entrada iguales, reproduce de forma razonable el desempeño pasado. Sin embargo, no suele haber seguridad de que el desempeño futuro continuará copiando el comportamiento pasado. Además, como el modelo se basa en el examen cuidadoso de datos pasados, la comparación propuesta casi siempre es favorable. Si el modelo propuesto representara un sistema nuevo (inexistente), no habría datos históricos disponibles. En esos casos podemos utilizar la simulación como una herramienta independiente para comprobar el resultado del modelo matemático”. (7:10)

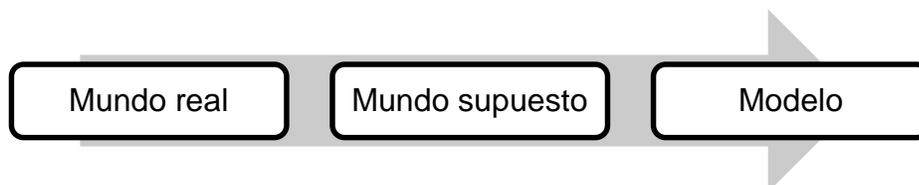
- e. Ejecución y control de la solución: “La implementación de la solución de un modelo validado implica la transformación de los resultados en instrucciones de operación comprensibles que se emitirán a las personas que administrarán el sistema recomendado. La responsabilidad de esta tarea recae principalmente en el equipo de IO”. (7:10)

### 1.2.1 Modelación matemática

Uno de los aspectos más importantes del proceso de investigación de operaciones, es la modelación matemática del problema. Un modelo matemático es la manera formal de expresar el problema en términos numéricos, estableciendo relaciones interdependientes entre las variables que ayuden a explicar lo sucedido y darle la mejor solución, en función de un significado teórico y práctico, a los modelos que describen un sistema completo, utilizando parámetros, variables y sus interrelaciones. Cada modelo matemático es una herramienta utilizada para darle solución a un problema en específico, por lo que, al cambiar la situación, la solución del modelo también cambiará, lo que no es de esperar que mantenga la misma lógica observada en un ejercicio anterior. Se propone la siguiente definición: “un modelo es una representación explícita y externa de parte de la realidad como la ven las personas que desean usar el modelo para entender, cambiar, gestionar y controlar dicha parte de la realidad”. (3:12)

**Figura 1**

#### **Abstracción de un modelo**



Fuente: Elaboración propia con base en la figura 1.1 de Taha, Hamdy A. 2012 “Investigación de operaciones”. 9a ed. Pearson Educación, México. 824 páginas

La matemática proporciona una herramienta precisa de medir la realidad y modelarla, en función de la información disponible, así como, de la influencia del investigador en determinado experimento. El modelo brinda los elementos de análisis para la toma de decisiones, ya que busca explicar, bajo conceptos teóricos, lo que se espera que pase ante determinado ejercicio. Es importante mencionar que, “puede haber una diferencia importante entre el modelo matemático y sus posibles interpretaciones de la realidad. Más aún, puede ocurrir que haya más de un modelo capaz de describir un cierto fenómeno. Además, se debe reconocer que un modelo cuyo objetivo sea explicar un fenómeno, no puede ser considerado nunca como una verdad absoluta; en el mejor de los casos es solamente una representación aproximada de la realidad”. (5:5)

Existe una infinidad de situaciones reales que pueden ser explicadas con un modelo matemático que se acople a lo observado, sin embargo, la complejidad de los modelos cambiará en función de la cantidad de variables explicativas incluidas en el análisis. Es decir, existen tantos modelos matemáticos como realidades observadas de manera integral o aislada de manera experimental.

Al hablar específicamente de la clasificación de los modelos matemáticos, esta puede considerarse de la siguiente manera: “los modelos normativos exigen el planteamiento de un modelo matemático (probablemente en forma de función objetivo y restricciones); Los modelos cuya estructura se ajusta a algunos de los patrones clásicos para los que es factible la optimización (programación lineal, por ejemplo), forman el subconjunto de modelos de optimización. Los modelos descriptivos abarcan todas aquellas técnicas de modelado que no comportan la definición de estructuras matemáticas que definen una solución como la deseable para ser implementada. Entre los modelos descriptivos se pueden citar los modelos de simulación, la teoría de colas e incluso las técnicas de previsión entre otras. Algunos de los modelos descriptivos llevan aparejada una carga

matemática importante, mientras que otros su estructura no es de tipo matemático”. (3:21)

Bajo el contexto de lo expuesto, es importante considerar que el lenguaje matemático no se limita a la expresión numérica que relaciona las variables. “Los modelos pueden ser estáticos o dinámicos.

Un modelo estático no tiene en cuenta el tiempo, mientras que los modelos dinámicos sí. Los modelos dinámicos se suelen representar con ecuaciones en diferencias o ecuaciones diferenciales.

Los modelos pueden ser lineales o no-lineales. Si todos los operadores de un modelo son lineales el modelo es lineal, si al menos uno es no-lineal el modelo es no-lineal. Aunque hay excepciones, los modelos lineales son mucho más fáciles de manejar que los modelos no-lineales. En general, los modelos no-lineales pueden ser linealizados, pero entonces, es posible, que se estén perdiendo aspectos relevantes del problema.

Un modelo puede ser determinista o estocástico. Un modelo determinista es aquel en que cada conjunto de variables en un estado está definido por los parámetros del modelo y por los estados anteriores. Un modelo determinista se comporta siempre igual para un conjunto de parámetros de entrada. En un modelo estocástico las variables de estado se representan por distribuciones de probabilidad, el modelo es capaz de recoger aleatoriedad o incertidumbre”. (3:22)

Existe un ciclo de vida del modelo matemático, determinado por la utilidad del mismo y su capacidad para adaptarse a nuevas situaciones reales, dicho ciclo está definido de la siguiente manera:

- a. Definir el problema: fase que incluye entender el problema y establecer los resultados esperados.
- b. Modelar y construir la solución: fase que incluye definir el tipo de técnica a utilizar, generar el modelo y, por último, validarlo.
- c. Utilizar la solución: fase que busca implementar el modelo de tal manera que el investigador lo utilice y mantenga un concreto sistema de actualización.

Se puede decir que la modelación del problema y la modelación matemática del mismo, son algunas de las herramientas que la IO ofrece para el fundamento de mejores decisiones en el ámbito empresarial. Es importante mencionar que, en la mayoría de casos que se utiliza la IO, las soluciones encontradas no son perfectamente rígidas, es decir, que son capaces de adaptarse a diferentes restricciones adicionales que se deseen incluir, dependiendo de la situación real. Esto se debe a que las soluciones se basan en algoritmos y se ajustan tanto a las necesidades que presenta el modelo como a la información disponible.

“Un algoritmo proporciona reglas fijas de cálculo que se aplican en forma repetitiva al problema, y cada repetición (llamada iteración) acerca la solución a lo óptimo. Como los cálculos asociados con cada iteración suelen ser tediosos y voluminosos, es recomendable que estos algoritmos se ejecuten con la computadora. Algunos modelos matemáticos pueden ser tan complejos que es imposible resolverlos con cualquiera de los algoritmos de optimización disponibles. En esos casos quizá sea necesario abandonar la búsqueda de la solución óptima y simplemente buscar una buena solución”. (7:5)

La modelación matemática es una de las principales herramientas utilizadas para fundamentar la toma de decisiones en el proceso de solución de problemas. Cabe mencionar que estos modelos han sido enmarcados en diferentes teorías,

ampliamente probados y aplicados en diferentes tipos de organizaciones, siendo una de estas la programación lineal.

Se desarrollará el tema de programación lineal, el cual utiliza como base la modelación matemática como herramienta para la solución de problemas de optimización.

### **1.3 Programación lineal**

En la década de los años 40 del siglo XX, a través del trabajo en equipo formado por matemáticos, economistas y físicos, entre los cuales merece especial mención George B. Dantzing, se sentaron las bases para la resolución de problemas de programación lineal y no lineal. Dicha herramienta de “Programación Lineal es una técnica matemática utilizada para dar solución a problemas que se plantean muy comúnmente en diversas disciplinas como Economía, Ingeniería, Sociología, Biología, etc. En esencia trata de maximizar y/o minimizar una función lineal de dos o más variables teniendo en cuenta que las mismas deben cumplir determinadas exigencias derivadas de la escasez de recursos disponibles en la realidad”. (4:3)

“La técnica de IO más importante es la programación lineal. Está diseñada para modelos con funciones objetivo y restricciones lineales. Otras técnicas incluyen la programación entera (en la cual las variables asumen valores enteros), la programación dinámica (el modelo original puede descomponerse en subproblemas más pequeños y manejables), la programación de red (el problema puede modelarse como una red), y la programación no lineal (las funciones del modelo son no lineales). Éstas son sólo algunas de las muchas herramientas de IO con que se cuenta”. (8:5)

La programación lineal surge de la necesidad de asignar convenientemente recursos escasos o disponibles, a la solución de un problema de manera óptima, buscando maximizar o minimizar los efectos de la interacción de variables en la realidad, generalmente utilizada en el ámbito empresarial en materia de producción y ventas, entre otros procesos administrativos.

“El proceso de administración de los recursos escasos de un sistema se suele dividir en seis fases:

- a. Análisis matemático del sistema.
- b. Construcción de un modelo matemático que refleja los aspectos importantes del sistema.
- c. Validación del modelo.
- d. Manipulación del modelo a fin de obtener una solución satisfactoria, si no óptima.
- e. Implementación de la solución seleccionada.
- f. Introducción de una estrategia de control del desempeño del sistema después de la implementación efectuada”. (8:9)

Un tema común en IO es la búsqueda de una solución óptima, es decir, la mejor solución que implica necesariamente la mejor utilización de los recursos escasos. Se espera que la aplicación de las herramientas de programación lineal, en la empresa objeto de análisis, optimicen los recursos disponibles, para programar la producción de calzado y así maximizar las utilidades para determinado período.

“Todos los modelos de IO, incluido el de PL, constan de tres componentes básicos.

- a. Las variables de decisión que se pretenden determinar.
- b. El objetivo (la meta) que se necesita optimizar (maximizar o minimizar).
- c. Las restricciones que la solución debe satisfacer.

La definición correcta de las variables de decisión es un primer paso esencial en el desarrollo del modelo. Una vez hecha, la tarea de construir la función objetivo y las restricciones es más directa”. (8:14)

Después de definir las restricciones, se debe considerar la condición de no negatividad (la cual se explicará más a profundidad en el apartado del método simplex). Por último, se debe dar solución al modelo matemático con el objetivo de encontrar la solución óptima o al menos sub-óptimas.

“Al reconocer este concepto, en ocasiones los equipos de investigación de operaciones utilizan sólo procedimientos heurísticos -es decir, procedimientos de diseño intuitivo que no garantizan una solución óptima- para encontrar una buena solución subóptima. Esto ocurre con más frecuencia en los casos en que el tiempo o el costo, para encontrar una solución óptima al modelo adecuado del problema, son muy grandes”. (2:14)

Una solución óptima para el modelo original puede no estar cerca del ideal, en el caso del problema real, de manera que es necesario hacer un análisis adicional. Dicho análisis es el post-óptimo, que constituye una parte muy importante de la mayoría de los estudios de IO. Este análisis también se conoce como análisis de “qué pasa si”, puesto que involucra algunas preguntas acerca de qué pasaría con

la solución óptima si se hubieran considerado supuestos diferentes sobre las condiciones futuras.

### **1.3.1 Método gráfico**

El método gráfico es una forma fácil y rápida para la solución de problemas de Programación Lineal, siempre y cuando el modelo conste de dos variables. Para modelos con tres o más variables, el método gráfico es imposible.

Consiste en representar geoméricamente las restricciones, condiciones técnicas y función objetivo.

Dicha técnica soluciona una amplia variedad de problemas presentados en diferentes actividades económicas o áreas de trabajo como la agricultura, industria, transporte, economía, salud, ciencias sociales, de la conducta y militar. No obstante, derivado de la complejidad creciente de los problemas, también se producen algoritmos eficientes de cómputo, como Solver de Microsoft Excel (el cual se desarrollará más adelante), para problemas con miles de restricciones y variables.

Este método también se conoce como geométrico y tiene tres componentes básicos: la función objetivo que se trata de optimizar, las variables de decisión, y las restricciones que se deben de cumplir.

“La definición correcta de las variables de decisión es un primer paso esencial en el desarrollo del modelo. Una vez hecha, la tarea de construir la función objetivo y las restricciones se hace en forma más directa” (6:12).

Para este tipo de problema, se necesita determinar las cantidades a producir de cada una de las variables de decisión y optimizar la función objetivo con dichos resultados. El procedimiento de solución gráfica comprende dos pasos:

- a. Determinación del espacio de soluciones que define todas las soluciones factibles del modelo.
- b. Determinación de la solución óptima entre todos los puntos factibles del espacio de soluciones.

El método consiste en utilizar el cuadrante positivo de las coordenadas cartesianas, mediante el trazo de rectas horizontales, verticales y diagonales, que permiten determinar el área de solución común, llamado área factible, la cual proporciona los puntos factibles de solución, es decir, aquellos que satisfacen las restricciones impuestas. Entre esos puntos se debe elegir el punto óptimo de solución, el cual es el que maximiza o minimiza la función objetivo. Este método de solución sólo es útil cuando el modelo matemático tiene dos variables de decisión.

El procedimiento para resolver problemas por este método es el siguiente:

1. Identificar la función objetivo (maximización o minimización), las variables de decisión y las variables de restricción.
2. Plantear el problema.
3. Definir la función objetivo (F.O.) en forma matemática.
4. Definir las restricciones en forma de desigualdades.

5. Cambiar las desigualdades a igualdades.
6. Calcular pares ordenados, utilizando las igualdades.
7. Trazar líneas rectas, en el plano de coordenadas cartesianas, identificando el área de solución factible, para cada tipo de restricción según el signo de su desigualdad. Es decir, para los casos de signo  $\geq$  el área de solución va hacia afuera y para el signo  $\leq$  el área de solución va hacia adentro del plano.
8. Localizar el área factible de solución (área común), que es aquella en donde existe intersección de áreas.
9. Localizar los puntos factibles de solución, siendo aquellos en donde existe intersección de rectas y que encierra el área factible de solución.
10. Calcular los valores de las variables, para cada punto factible de solución,  $(X_1; X_2)$  a través de ecuaciones simultáneas.
11. Determinar el punto óptimo de solución, esto se logra sustituyendo las variables encontradas en el paso "10" en la función objetivo. Para problemas de maximización, el punto óptimo de solución es aquel en donde el resultado es mayor, y en los casos de minimización, el punto óptimo corresponde al menor resultado.
12. Comprobar las restricciones, sustituyendo las variables de las desigualdades restrictivas por los valores del punto óptimo de solución.
13. Respuesta y conclusión.

### **1.3.2 Método simplex**

El método simplex es utilizado principalmente para darle solución a problemas de más de dos variables relacionadas linealmente. Lo que busca el modelo es definir la solución óptima, para un conjunto de disponibilidades en función de las restricciones definidas por el modelo matemático.

La programación lineal se utiliza para aquellos problemas en que el objetivo es maximizar o minimizar una función lineal, sujeta a restricciones, generalmente estándares de producción o utilización de las disponibilidades de recursos.

Para darle solución a un problema de programación lineal, primero se deben identificar las variables que intervienen en el problema, es decir, la función objetivo (maximizar o minimizar) que representa generalmente el criterio de evaluación del resultado; las restricciones en forma de desigualdad y las restricciones de no negatividad, que representan los límites lógicos planteados en el modelo con base en la utilización de los recursos disponibles; y posteriormente se debe elegir el método de solución más conveniente en función del tiempo y el costo (la función Solver de Excel o el procedimiento manual).

El método simplex, es una de las expresiones más complejas de la aplicación de la programación lineal, esto derivado de la cantidad de variables y restricciones incluidas en el planteamiento superior a la solución por el método gráfico.

“El método geométrico y el método de inspección de vértices llegan a ser imprácticos como métodos de solución de problemas de programación lineal, cuando el número de variables es mayor de dos, y en especial cuando el número de desigualdades es grande. En el caso de estos problemas más complejos, existe una alternativa, denominado el método simplex, que representa una manera natural y económica de calcular los extremos”. (3:418)

Se presentan algunos conceptos generales del método simplex para su mayor comprensión:

- ❖ Método simplex: método utilizado en programación lineal para darle solución a problemas de programación que cuentan con más de dos variables. Generalmente es usado para la solución de problemas de producción o asignación de recursos limitados, para optimizar su uso.
- ❖ Función objetivo: representa la meta a la cual se quiere llegar, optimizando los recursos disponibles para lograrlo.
- ❖ Variables de decisión: representa los productos a los cuales se les asignará los recursos disponibles.
- ❖ Restricciones: representa las limitaciones, condiciones o requerimientos, en forma de recursos disponibles, que pueden ser utilizados para la solución del problema.
- ❖ Restricción de no negatividad: es la restricción implícita (o “que se sobreentiende”), que indica que las variables de decisión no pueden asumir valores negativos, es decir, como producciones negativas o el desuso de recursos.
- ❖ Variables de holgura: es la que absorbe la diferencia existente entre el lado izquierdo y lado derecho de la inequación, cuando se convierte una desigualdad de la forma  $\leq$  a una igualdad. Representa la cantidad no usada de los recursos para la optimización de la producción.

- ❖ **Tablero simplex:** es un arreglo en renglones y columnas, cuyos elementos son los coeficientes y las constantes de las igualdades de un problema, a esta forma se le llama tabular.
- ❖ **Columna pivote:** representa el menor valor del tablero simplex y representa el valor objetivo de cada variable de decisión, indicado así la prioridad en el uso de los recursos. En la medida que el valor sea menor a dicha variable de decisión, se le asignarán primero los recursos.
- ❖ **Fila pivote:** representa el menor coeficiente de utilización de los recursos asignados a la producción o solución del problema, figurando así el aprovechamiento de los recursos restrictivos. En la medida que el coeficiente sea menor, no negativo, se deberá asignar dicho recurso con prioridad a la variable de decisión identificada en la columna pivote.

### **1.3.2.1 Métodos de solución**

Se describe el procedimiento de solución del método simplex, manual y utilizando la aplicación Solver de Microsoft Excel.

#### **1.3.2.1.1 Procedimiento de solución del método simplex, manual**

Los pasos a seguir, cuando la función objetivo se desee maximizar.

1. Identificar las variables a utilizar en el método simplex: variable objetivo, variables de decisión y variables de restricción.
2. Plantear el problema en forma tabular.
3. Definir la función objetivo (F.O.) en forma de ecuación.

4. Definir las restricciones en forma de desigualdades.
5. Convertir las desigualdades restrictivas en igualdades y agregar variables de holguras, una por cada desigualdad.
6. Igualar la ecuación de la función objetivo a cero (0).
7. Construir el primer tablero simplex, ordenando los coeficientes de las, variables principales, variables de holguras y, constantes de las igualdades, por fila, en la última, incluir los coeficientes de la función objetivo igual a cero.
8. Determinar la columna pivote (CP), se identifica con el menor valor de los elementos de la fila de la función objetivo, última fila del tablero simplex.
9. Encontrar el elemento pivote (EP), se logra, dividiendo cada uno de los valores de los elementos de la última columna, constantes, entre el valor de cada elemento correspondiente de la fila (no negativo, no cero) de la columna pivote y el menor cociente positivo indicará cuál es el elemento pivote, de existir empate se toma cualquiera.
10. Convertir en uno, el valor del elemento pivote, lo cual se logra multiplicando el inverso del valor del elemento pivote, por cada valor de los elementos de su fila, ordenando los resultados en la fila correspondiente del siguiente tablero, denominándose a esta nueva fila pivote (FP).
11. Convertir en cero los restantes valores de la columna pivote, lo cual se logra multiplicando el valor del elemento a convertir en “cero” con signo cambiado, por cada valor de los elementos de la fila pivote, y al resultado parcial, sumándole los valores de los elementos correspondientes de la fila del

elemento a convertir en “cero”. El nuevo resultado se ordena en la fila de acuerdo con su orden.

12. Si todos los valores de los elementos de la última fila, fila de la función objetivo, del nuevo tablero son ceros y/o positivos, se estará encontrando la solución óptima al problema, y se les dará valor a las variables de, decisión, holgura y función objetivo; de haber uno o más valores negativos repetir los pasos del 8 al 11; hasta lograr lo antes descrito.

El valor de las variables se logra ubicándose en la primera fila y columna correspondiente a cada una, recorrer de arriba hacia abajo a la posición del uno, luego recorrer de izquierda a derecha hasta la columna de constantes.

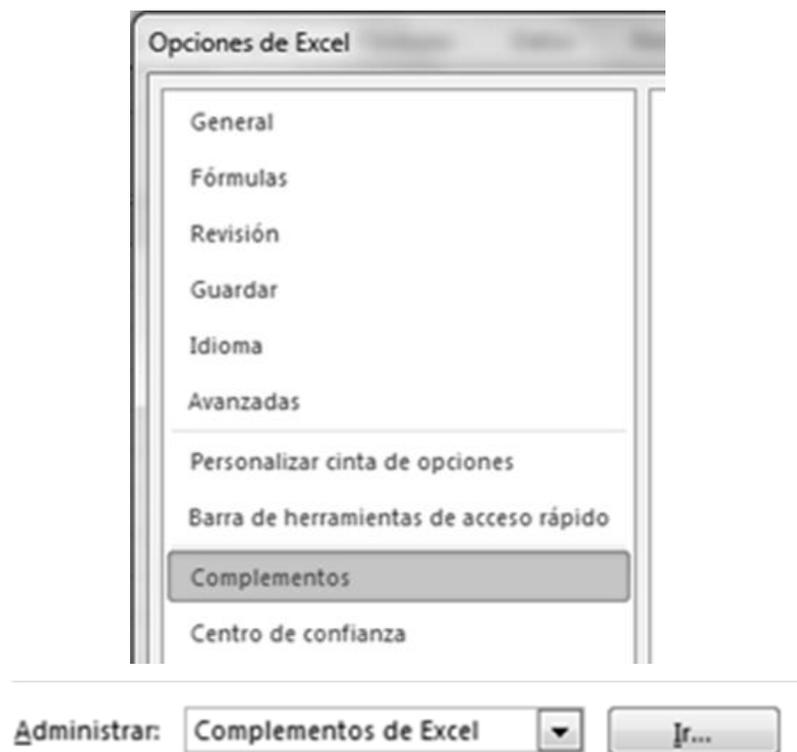
El uno en su columna debe de estar acompañado de ceros en las demás filas, de no cumplirse con esta condición el valor para la variable es cero.

13. Comprobar en la función objetivo, sustituyendo las variables de decisión por los valores calculados por el método simplex, en el paso 12.
14. Comprobar en las restricciones, sustituyendo las variables de decisión por los valores calculados por el método simplex, en el paso 12.
15. Definir la respuesta, conclusión y recomendación correspondiente.

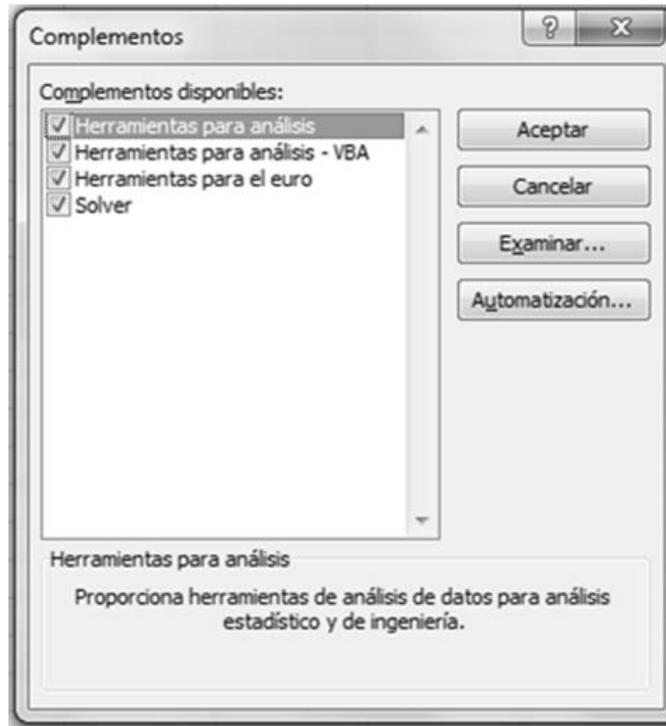
### **1.3.2.1.2 Procedimiento de solución del método simplex a través de la función Solver de Microsoft Excel**

Microsoft Excel dispone de la herramienta Solver para la solución de este tipo de problemas. Su procedimiento es el siguiente:

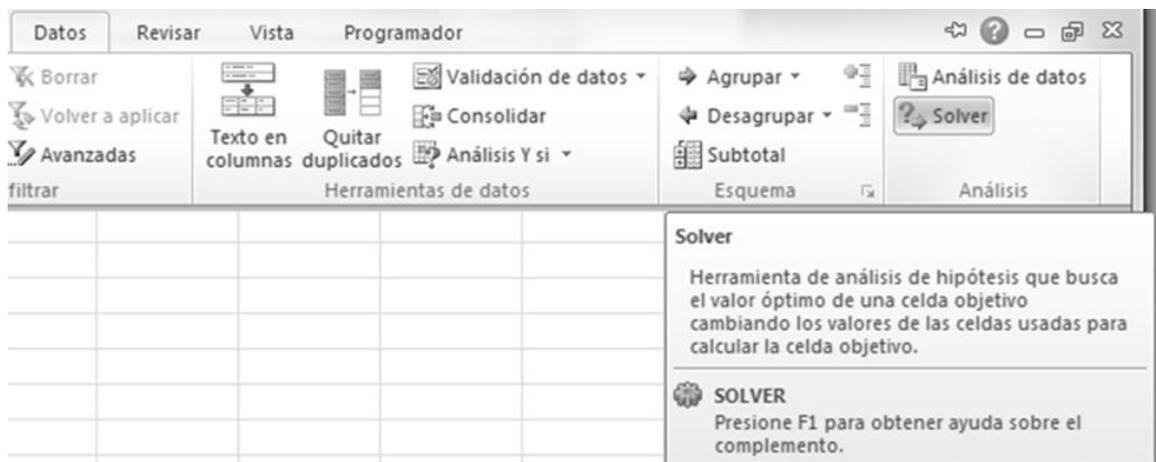
1. Primero el ordenador debe disponer de la herramienta, para lo cual se debe ir a la barra de archivo, opciones, complementos y dar clic en la parte inferior de la ventana emergente en donde dice "ir":



Seleccionar el complemento Solver, y dar aceptar:



Después de habilitar la herramienta de Microsoft Excel, es posible ubicar la función Solver al ir a la pestaña de datos, en la cinta de opciones, y ubicar la herramienta al final del menú:



2. Al igual que el método anterior, primero se debe identificar las variables a utilizar en el método simplex y realizar el planteamiento correspondiente,

expresado de la siguiente forma en una hoja de cálculo (los valores utilizados son a manera de ejemplo):

#### Cuadro de salida

	A	B	C	D	E	F
1		<b>X<sub>1</sub></b>	<b>X<sub>2</sub></b>	<b>X<sub>3</sub></b>		
2	<b>FO MAX Z</b>	12	14	16	Precio / Costo	
3	<b>Unidades</b>				Resultado Solver	

Como se puede observar, dependiendo de la cantidad de variables a utilizar, así será el cuadro de salida de cálculo.

#### Cuadro de restricciones

	A	B	C	D	E	F
4						
5	<b>Sujeto a las siguientes restricciones:</b>				<b>Utilizado Disponible</b>	
6	<b>1</b>	2	4	6	-	5,000
7	<b>2</b>	7	5	2	-	10,000
8	<b>3</b>	4	6	9	-	7,000

En el rango dentro de la matriz de restricciones (B6:D8) se deben colocar los valores de las restricciones definidas en el modelo. En el rango (F6:F8) se colocan las disponibilidades por restricción definida.

Al considerar los dos cuadros anteriores, se debe colocar la formulación del cálculo de las restricciones, según los resultados de Solver, lo cual se logra al multiplicar el consumo de la restricción por variable por la cantidad de unidades a producir:

AHORA							
=+B6*\$B\$3+C6*\$C\$3+D6*\$D\$3							
	A	B	C	D	E	F	G
1		<b>X<sub>1</sub></b>	<b>X<sub>2</sub></b>	<b>X<sub>3</sub></b>			
2	<b>FO MAX Z</b>	12	14	16	Precio / Costo		
3	<b>Unidades</b>				Resultado Solver		
4							
5	<b>Sujeto a las siguientes restricciones:</b>				<b>Utilizado</b>	<b>Disponible</b>	<b>Holgura</b>
6	<b>1</b>	2	4	6	=+B6*\$B\$3+C6*\$C\$3+D6*\$D\$3		
7	<b>2</b>	7	5	2	-	10,000	10,000
8	<b>3</b>	4	6	9	-	7,000	7,000

AHORA							
=+B7*\$B\$3+C7*\$C\$3+D7*\$D\$3							
	A	B	C	D	E	F	G
1		<b>X<sub>1</sub></b>	<b>X<sub>2</sub></b>	<b>X<sub>3</sub></b>			
2	<b>FO MAX Z</b>	12	14	16	Precio / Costo		
3	<b>Unidades</b>				Resultado Solver		
4							
5	<b>Sujeto a las siguientes restricciones:</b>				<b>Utilizado</b>	<b>Disponible</b>	<b>Holgura</b>
6	<b>1</b>	2	4	6	-	5,000	5,000
7	<b>2</b>	7	5	2	=+B7*\$B\$3+C7*\$C\$3+D7*\$D\$3		
8	<b>3</b>	4	6	9	-	7,000	7,000

AHORA							
=+B8*\$B\$3+C8*\$C\$3+D8*\$D\$3							
	A	B	C	D	E	F	G
1		<b>X<sub>1</sub></b>	<b>X<sub>2</sub></b>	<b>X<sub>3</sub></b>			
2	<b>FO MAX Z</b>	12	14	16	Precio / Costo		
3	<b>Unidades</b>				Resultado Solver		
4							
5	<b>Sujeto a las siguientes restricciones:</b>				<b>Utilizado</b>	<b>Disponible</b>	<b>Holgura</b>
6	<b>1</b>	2	4	6	-	5,000	5,000
7	<b>2</b>	7	5	2	-	10,000	10,000
8	<b>3</b>	4	6	9	=+B8*\$B\$3+C8*\$C\$3+D8*\$D\$3		

La formulación de las holguras, únicamente restando de lo utilizado, lo disponible:

		A	B	C	D	E	F	G	H	I
1			$X_1$	$X_2$	$X_3$					
2	<b>FO MAX Z</b>		12	14	16	Precio / Costo				
3	<b>Unidades</b>					Resultado Solver				
4										
5	<b>Sujeto a las siguientes restricciones:</b>					<b>Utilizado</b>	<b>Disponible</b>	<b>Holgura</b>		
6	<b>1</b>		2	4	6	-	5,000	$=+F6-E6$	Holgura de material A	
7	<b>2</b>		7	5	2	-	10,000	10,000	Holgura de material B	
8	<b>3</b>		4	6	9	-	7,000	7,000	Holgura de material C	

		A	B	C	D	E	F	G	H	I
1			$X_1$	$X_2$	$X_3$					
2	<b>FO MAX Z</b>		12	14	16	Precio / Costo				
3	<b>Unidades</b>					Resultado Solver				
4										
5	<b>Sujeto a las siguientes restricciones:</b>					<b>Utilizado</b>	<b>Disponible</b>	<b>Holgura</b>		
6	<b>1</b>		2	4	6	-	5,000	5,000	Holgura de material A	
7	<b>2</b>		7	5	2	-	10,000	$=+F7-E7$	Holgura de material B	
8	<b>3</b>		4	6	9	-	7,000	7,000	Holgura de material C	

		A	B	C	D	E	F	G	H	I
1			$X_1$	$X_2$	$X_3$					
2	<b>FO MAX Z</b>		12	14	16	Precio / Costo				
3	<b>Unidades</b>					Resultado Solver				
4										
5	<b>Sujeto a las siguientes restricciones:</b>					<b>Utilizado</b>	<b>Disponible</b>	<b>Holgura</b>		
6	<b>1</b>		2	4	6	-	5,000	5,000	Holgura de material A	
7	<b>2</b>		7	5	2	-	10,000	10,000	Holgura de material B	
8	<b>3</b>		4	6	9	-	7,000	$=+F8-E8$	Holgura de material C	

Por último, se agrega la formulación de la función objetivo, definida por una maximización o minimización de las variables, según sea el caso:

	A	B	C	D	E	F
1		$X_1$	$X_2$	$X_3$		
2	<b>FO MAX Z</b>	12	14	16	Precio / Costo	
3	<b>Unidades</b>				Resultado Solver	
4						
9						
10	<b>FO MAX Z</b>	-	Utilidad /Costo			

AHORA  X  fx =+\$B\$2\*B3+\$C\$2\*C3+\$D\$2\*D3

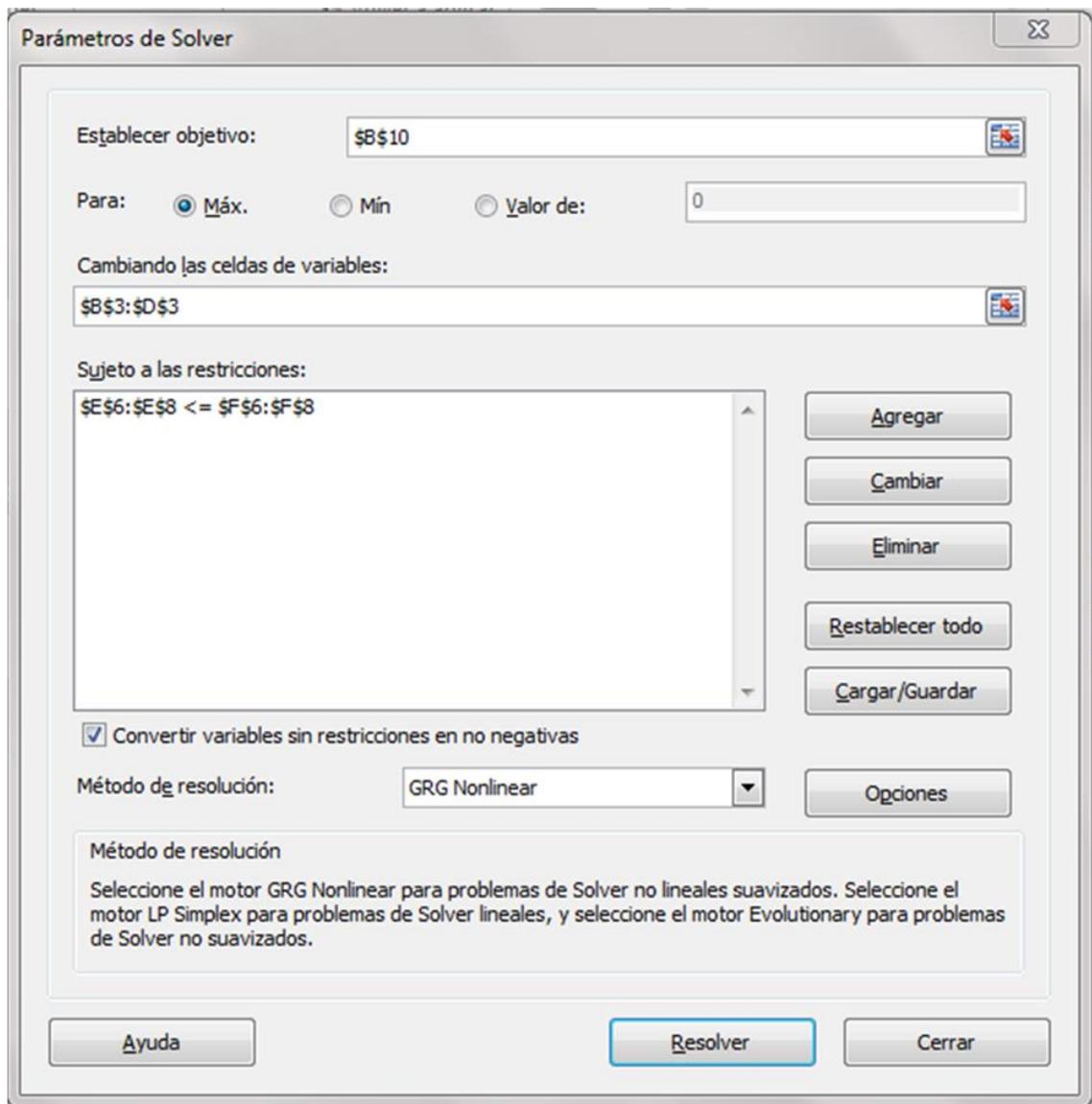
	A	B	C	D	E	F
1		$X_1$	$X_2$	$X_3$		
2	<b>FO MAX Z</b>	12	14	16	Precio / Costo	
3	<b>Unidades</b>				Resultado Solver	
4						
9						
10	<b>FO MAX Z</b>	=+\$B\$2*B3+\$C\$2*C3+\$D\$2*D3				

3. Después de formular la hoja de cálculo se deben ingresar los parámetros del Solver, lo cual se logra al ingresar a la aplicación antes incluida en la cinta de opciones.

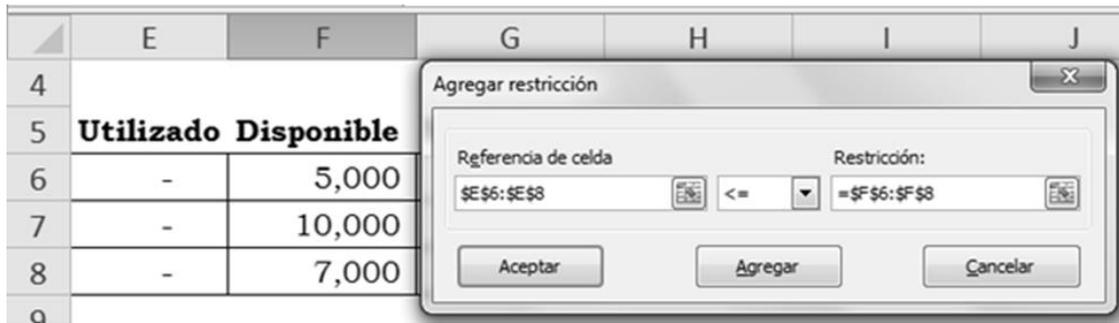
	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1		$X_1$	$X_2$	$X_3$					
2	<b>FO MAX Z</b>	12	14	16	Precio / Costo				
3	<b>Unidades</b>				Resultado Solver				
4									
5	<b>Sujeto a las siguientes restricciones:</b>				<b>Utilizado</b>	<b>Disponible</b>	<b>Holgura</b>		
6	1	2	4	6	-	5,000	5,000	Holgura de material A	
7	2	7	5	2	-	10,000	10,000	Holgura de material B	
8	3	4	6	9	-	7,000	7,000	Holgura de material C	
9									
10	<b>FO MAX Z</b>	-	Utilidad /Costo						

Los parámetros se llenan de la siguiente manera: “establecer objetivo” seleccionar la celda ubicada en la formulación de la función objetivo; después

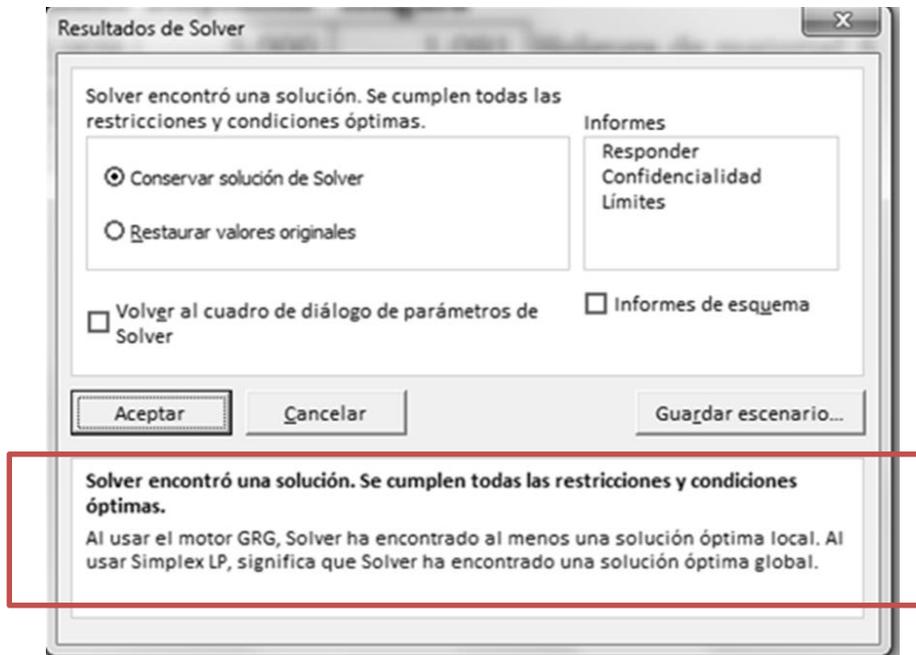
seleccionar lo que se busca con dicha función, para el presente caso es “MAX” porque se busca maximizar la utilidad; en donde dice “cambiando las celdas de variables” se debe colocar en el espacio en donde se colocará el resultado del simplex.



Posteriormente se deben agregar las restricciones del modelo, para lo cual se debe dar clic en agregar y llenar lo siguiente:



Con “referencia de celda”, colocar el rango de las restricciones, es decir, lo utilizado; se debe colocar el signo de la desigualdad que determina la relación establecida, coherente con lo que se busca, después agregar la restricción al seleccionar lo disponible. Por último, dar clic en “resolver” de la primera ventana. La ventana emergente únicamente indica si se desea conservar el resultado, para lo cual se debe dar aceptar (según lo deseado).



La solución de Solver, para el ejemplo planteado, es la siguiente:

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1		<b>X<sub>1</sub></b>	<b>X<sub>2</sub></b>	<b>X<sub>3</sub></b>					
2	<b>FO MAX Z</b>	12	14	16	Precio / Costo				
3	<b>Unidades</b>	1,136	409	-	Resultado Solver				
4									
5	<b>Sujeto a las siguientes restricciones:</b>				<b>Utilizado</b>	<b>Disponible</b>	<b>Holgura</b>		
6	<b>1</b>	2	4	6	3,909	5,000	1,091	Holgura de material A	
7	<b>2</b>	7	5	2	10,000	10,000	-	No existe holgura	
8	<b>3</b>	4	6	9	7,000	7,000	-	No existe holgura	
9									
10	<b>FO MAX Z</b>	19,364	Utilidad /Costo						

Solver brinda una solución rápida a problemas de programación lineal, utilizando herramientas informáticas, lo cual permite solucionar problemas con más de tres variables de decisión de una manera sencilla.

Entre las ventajas de la herramienta, es accesible desde cualquier ordenador, sencillo de programar y cuenta con la facilidad para cambiar datos; como parte de un análisis de sensibilidad de los parámetros. Entre las desventajas de la herramienta, es que dará una solución al problema indicado, aunque esté mal planteado o que carezca de coherencia con lo que se busca; por lo que, se debe tener especial cuidado en la verificación de los resultados. No obstante, a diferencia de la solución manual, Solver permite obtener los resultados rápidamente y con un mejor análisis post-óptimo (análisis realizado después de encontrar la respuesta final del problema).

Tanto la herramienta informática, como la solución manual, brindan los mismos resultados esperados; sin embargo, en la medida que se amplíe la cantidad de variables de decisión, restricciones y urgencia de obtener los resultados, Solver gana importancia, dada su aplicación práctica e ilimitada de variables de entrada y salida.

Para el presente caso la aplicación del método simplex será sobre las variables restrictivas de insumos, dentro del proceso productivo, lo que incluye mano de obra, materia prima y presupuesto.

#### **1.4 Proceso productivo de calzado**

Por producción se entiende, al proceso mediante el cual se asignan recursos materiales e intelectuales, determinados insumos, para la generación de productos (bienes o servicios) que se derivan de la transformación, interacción y manipulación de los materiales. El fin de la producción es la creación de productos a partir de recursos disponibles para su elaboración.

La productividad representa la cantidad de unidades producidas por unidad de tiempo o por unidad de materiales, en la medida que se utilice menos, tiempo o, materiales para la producción de determinadas unidades, sin sacrificar calidad, se dice que el proceso es eficiente. Bajo dicho contexto, la programación lineal de la producción, a través del método simplex, busca la optimización del uso de los recursos y su productividad.

El proceso productivo en la elaboración de calzado es relativamente sencillo, dado que la manufactura del mismo no requiere de muchos procesos, su elaboración no necesita maquinaria de uso complejo e insumos que requieren de un tratamiento especial, tanto para su conservación como para su aplicación.

El proceso productivo consta de cuatro etapas, marcadas por la especialidad de las mismas, aunque la organización del proceso productivo depende del criterio administrativo de cada empresa:

- a. Corte: departamento encargado de cortar a la medida, cada uno de los materiales a utilizar en el resto del proceso productivo.
- b. Pegado: departamento encargado del pegado del material sobre el molde del zapato que se esté trabajando.
- c. Cosido: departamento encargado de coser el material según el molde del zapato que se esté trabajando.
- d. Acabado: departamento encargado de dar los acabados finales e inspección de calidad de los productos elaborados.

Entre los principales materiales utilizados en la fabricación de calzado están:

- a. Piel o cuero: del latín corium, piel de los animales, curtida. El cuero proviene de una capa de tejido que recubre a los animales, la cual tiene propiedades de resistencia y flexibilidad apropiadas para su posterior manipulación.
- b. Forro sintético: el material sintético apenas se diferencia del cuero auténtico, sin embargo, dicho material es utilizado para recubrir la parte interna del zapato.
- c. Pegamento: Sustancia líquida o pastosa que sirve para adherir cosas.
- d. Hilo: es una hebra larga y delgada de un material textil, especialmente la que se usa para coser.
- e. Suela: parte exterior del calzado que queda debajo de la planta del pie y que está en contacto con el suelo.

La empresa objeto de análisis desea programar la producción para los siguientes estilos de calzado:

- a. Casual: tipo de zapato informal o casual, diseñado y fabricado, adecuado para el uso fuera de actividades formales como escolares y reuniones de carácter relevante. Usado generalmente en actividades de tiempo libre.
- b. Escolar: tipo de zapato formal estilo mocasín, utilizado con uniformes escolares, el cual es solicitado como requisito para los establecimientos educativos de asistencia regular.
- c. Bota: tipo de calzado que cubre el pie y parte del tobillo, o que en algunas ocasiones llega hasta la rodilla. Al principio fueron diseñadas como calzado de trabajo por la protección del pie y la articulación del tobillo, sin embargo, en la actualidad es usado como zapato de vestir de uso común.

## **CAPÍTULO II**

### **DIAGNOSTICO DE LA EMPRESA OBJETO DE ANÁLISIS**

La administración y planificación de un proceso de manufactura, requiere de la coordinación de diferentes departamentos para llevar a cabo la fabricación de determinado producto; sin embargo, generalmente la falta de una planificación de la producción, cuando se carece de un programa, que brinde los estándares necesarios de inventarios, compras y asignación presupuestaria.

La programación de la producción es, la parte fundamental de todo proceso de planificación administrativa y operativa, porque brinda la cantidad de insumos necesarios para satisfacer la cantidad a producir. Es importante mencionar dos puntos de vista en la maximización de las utilidades de la empresa, primero la perspectiva del ingreso, dado que brinda el suministro de la oferta necesaria para satisfacer la demanda, segundo, desde el punto de vista de los costos permitiendo reducirlos óptimamente para maximizar la utilidad final.

En este capítulo se describirán las generalidades de la empresa objeto de análisis, con lo referente a su sistema de producción y planificación de inventarios para la producción de calzado. Se abordará el tema específico de los insumos utilizados, dado que dicha información es de vital importancia en la programación de la producción. Por último, se presenta el análisis del proceso de toma de decisiones de la empresa con respecto a la programación de la producción y la metodología utilizada para llevar a cabo la investigación.

#### **2.1 Generalidades de la empresa objeto de análisis**

Es una organización de capital guatemalteco, que se dedica a la fabricación de calzado, específicamente para niños, utilizando materia prima de alta calidad

para su elaboración, es un proceso productivo especializado con énfasis en durabilidad y comodidad.

La empresa fue fundada en el año 1998, y se ubicó en la zona 5 de la ciudad capital de Guatemala, como una empresa familiar que contaba con aproximadamente 4 empleados. Posteriormente, derivado de la demanda de sus productos, la empresa logró expandirse y ampliar su personal a 12 empleados. La tendencia de administración de la empresa se basa en la calidad de sus productos, como reflejo de la capacitación de sus colaboradores a través de la experiencia en el área y la búsqueda de la preferencia.

### **2.1.1 Filosofía empresarial**

La filosofía organizacional define la forma de ser de una institución y fija una visión compartida con todos sus empleados, sobre los principios y valores que rigen su comportamiento.

Como parte de la filosofía se encuentra la planificación estratégica, misma que determina el rumbo bajo el cual se tomarán todas sus decisiones. Dicha filosofía limita la discrecionalidad en la toma de decisiones y permite enfocar los esfuerzos institucionales en pro de los objetivos previamente definidos y compartidos por los grupos de interés, como los empleados, la administración y los consumidores.

La empresa no cuenta con manuales administrativos, ni de procedimientos definidos, ni un documento que especifique su planificación estratégica; sin embargo, según la información recolectada de manera directa a través del propietario, se lograron identificar cuatro componentes importantes de la planificación estratégica, misión, visión, valores y políticas.

#### **2.1.1.1 Misión**

“Somos una empresa que se dedica a la producción de calzado de la más alta calidad, utilizando las mejores materias primas y mano de obra calificada, buscando satisfacer las necesidades de nuestros clientes y entablando relaciones sostenibles de largo plazo”.

#### **2.1.1.2 Visión**

“Ser una empresa de reconocido prestigio en el suministro de calzado de la mejor calidad”.

#### **2.1.1.3 Valores**

- **Calidad:** reflejada tanto en el trabajo realizado por todos los empleados, así como en el tipo de producto que se brinda a la sociedad, buscando siempre la excelencia, comodidad y durabilidad.
- **Lealtad:** reflejada en el establecimiento de relaciones sostenibles de largo plazo con los colaboradores y los clientes.
- **Respeto:** significa el buen trato con las demás personas, siempre bajo los límites de propiedad y profesionalismo.
- **Espíritu de servicio:** siempre al servicio de los demás, reflejado en el constante trabajo en equipo y apoyo mutuo.

#### **2.1.1.4 Políticas**

Se han identificado tres principales políticas, específicamente dentro del área de producción, las cuales ayudan a garantizar las buenas prácticas de manufactura:

- a. **Política de seguridad industrial:** todos los trabajadores del área de producción deben utilizar, obligatoriamente, el equipo de seguridad correspondiente por sección de trabajo, esto para proteger su integridad y laborar bajo el concepto de seguridad industrial, dentro del marco de buenas prácticas de manufactura.
  
- b. **Política de calidad de comodidad de los productos:** los productos manufacturados por la empresa deben estar diseñados para brindar la mayor comodidad a los consumidores, esto a través de un mejor diseño ergonómico (adaptación de algo a las características físicas y psicológicas de una persona).
  
- c. **Política de durabilidad de los productos:** los productos manufacturados por la empresa son elaborados con materias primas de calidad, lo que brindará durabilidad a los consumidores.

## **2.2 Problemática de la empresa objeto de análisis**

Los procesos productivos manufactureros, se caracterizan generalmente por la amplia gama de recursos, que se requieren para la elaboración de un determinado producto. Los materiales forman parte esencial de la cadena de suministro y deben abastecer la producción planificada en cantidad y calidad, esto con el fin de lograr la máxima eficiencia operacional, reducir costos y maximizar la ganancia. La administración del recurso humano, debe estar enfocada con relación al tiempo necesario para llegar a la cuota de producción.

Cuando las empresas no cuentan con una programación de la producción, dentro de la cual participa principalmente el suministro de insumos, a través de la administración del inventario y la fuerza de trabajo, incurre en varios problemas, incremento de costos por la falta de materiales (o sobre stock) y en mano de

obra ociosa, respectivamente. Estos problemas son perjudiciales ya que impactan directamente en las utilidades de la organización. Tal es el caso de la empresa objeto de análisis que tiene la necesidad de programar la producción, para tres tipos de zapatos, según la disponibilidad de inventario. Generalmente la empresa realiza la compra de insumos y la producción de manera aislada, lo que la ha llevado a enfrentar problemas de altos costos de mantenimiento, desperdicio de materiales y, por ende, bajas utilidades.

### **2.3 Tipo de calzado producido por la empresa en análisis**

La empresa cuenta con tres productos líderes en el mercado, esto es derivado de su alta demanda durante el año.

Las ventas más elevadas son del zapato escolar. Para fines de simplificación del análisis se ha optado por delimitar el campo de estudio únicamente a la talla 35 de los tres tipos de zapato, casual, escolar y bota. En promedio, las ventas de la empresa para el estilo escolar representan el 50% del total, el otro 50% se distribuye de manera equitativa entre los otros dos estilos. Esto se debe a la baja demanda de los productos de especialidad, como lo es la bota o zapato casual para niño, dado que su utilidad no es muy recurrente. Se puede indicar que el zapato casual para niño es fuertemente superado por el zapato tipo tenis, sin embargo, la empresa no produce dicho estilo.

### **2.4 Inventarios disponibles de materia prima y estándares en la producción**

La información recopilada en la empresa, da a conocer que no existe un programa de compras de insumos, que permita planificar la producción, provocando que se cuente inventarios acumulados que preocupa a las autoridades.

En este análisis se han considerado únicamente cinco tipos de insumos, directamente utilizados en el proceso productivo.

### Cuadro 1

#### Inventario de materia prima para la producción de zapato para niño, talla 35

Materia prima	Unidad de medida	Inventario disponible
Piel	Yardas	389.41
Sintético (forro)	Yardas	519.20
Pegamento	Onza Liquida	17,390.69
Hilo	Yardas	1,388.57
Suela	Unidades	1,038.40

Fuente: Elaboración propia, año 2015.

### Cuadro 2

#### Estándares de utilización de materiales en la producción de zapato para niño, talla 35

Materia prima	Zapato			Unidad de medida
	Casual	Escolar	Bota	
Piel	0.6667	0.6667	1.0000	Yardas
Sintético (forro)	0.5000	1.0000	1.5000	Yardas
Pegamento	26.6667	33.4295	36.8109	Onza liquida
Hilo	1.8182	2.2136	2.6264	Yardas
Suela	2.000	2.0000	2.0000	Unidades

Fuente: Elaboración propia, año 2015.

## 2.5 Otras restricciones: mano de obra, presupuesto y demanda

Entre otras restricciones de insumos utilizados durante el proceso de producción, están. la mano de obra y el presupuesto asignado para el departamento de

producción. La mano de obra es cancelada como un sueldo fijo, es decir, que no depende del volumen producido. Actualmente la empresa cuenta con 12 trabajadores distribuidos en dos departamentos que son:

- a. Corte y pegado
- b. Cosido y acabado

### Cuadro 3

#### Tiempo disponible por departamento para la producción de un par de zapatos para, niño talla 35

Mano de obra	Par de zapato			Disponibilidad en minutos
	Casual	Escolar	Bota	
Corte	41.4	56.4	61.8	27,648
Pegado	27.6	37.6	41.2	18,432
Cosido	30.1	30.1	34.3	16,128
Acabado	12.9	12.9	14.7	6,912

Fuente: Elaboración propia, año 2015.

### Cuadro 4

#### Presupuesto para la producción de zapato para niño, talla 35

	Costo por par de zapato			Disponibilidad
	Casual	Escolar	Bota	
<b>Presupuesto</b>	Q60.53	Q62.47	Q70.47	Q35,000.00

Fuente: Elaboración propia, año 2015

## Cuadro 5

### Demanda mínima por tipo de zapato para niño, talla 35

Zapato	pares
Casual	60
Escolar	75
Bota	50

Fuente: Elaboración propia, año 2015.

## 2.6 Análisis del proceso de toma de decisiones actual en materia de programación de producción

Actualmente, la empresa no tiene un proceso de toma de decisiones, ni de planificación de la producción definido, únicamente cuenta con un control de existencias en bodega, llevado a cabo con el fin de mantener la cadena de suministro con los clientes detallistas. Especialmente la situación es causada por la falta de conocimiento en el tema y el poco control interno existente por parte de la administración.

## **CAPÍTULO III**

### **APLICACIÓN DEL MÉTODO SIMPLEX DE PROGRAMACIÓN LINEAL**

El método simplex es una herramienta matemática, utilizada para elaborar un programa óptimo de producción, que busca una mezcla o combinación de productos, para aprovechar de la mejor forma todos los recursos disponibles; así como cumplir con todos los requerimientos y condiciones dentro de la producción.

#### **3.1 Objetivo general y específicos de la aplicación de la herramienta matemática**

##### **El objetivo general:**

“Determinar la cantidad total de pares de zapato a elaborar”.

##### **Los objetivos específicos son:**

- Determinar la cantidad de pares de zapatos a elaborar de cada tipo.
- Cumplir con los requerimientos de producción.
- Identificar las holguras de material en el inventario de insumos para la producción mensual de calzado.
- Determinar a cuánto asciende la utilidad máxima con la aplicación de la herramienta matemática para determinado periodo.

#### **3.2 Identificación de las variables a utilizar en la programación lineal**

Como todo proceso de solución, el primer paso es identificar las variables que influyen en el problema a plantear.

Las variables a utilizar en el método simplex son:

- i. Objetivo: Se pretende alcanzar la maximización de la utilidad al solucionar el problema.
- ii.
- iii. Variables de decisión: son identificadas a través de los tipos de calzado que la empresa desea producir:

Zapato casual para niño (talla 35)	$X_1$
Zapato escolar para niño (talla 35)	$X_2$
Zapato bota para niño (talla 35)	$X_3$

- iv. Restricciones: se han tomado todas las restricciones que, de una u otra manera, afectan la producción de zapatos.

#### **Materia Prima**

Piel

Sintético (forro)

Pegamento

Hilo

Suela

#### **Mano de obra**

Corte

Pegado

Cocido

Acabado

#### **Presupuesto**

#### **Demanda**

Zapato casual para niño (talla 35)

Zapato escolar para niño (talla 35)

Zapato                    bota                    para                    niño                    (talla                    35)

### 3.3 Planteamiento del problema

Con la información presentada en el capítulo II, se plantea el problema en un cuadro de doble entrada.

Concepto de restricción	Por cada par de zapatos			Disponibilidad	Unidad de medida	Signo
	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>			
<b>Materia prima</b>						
Piel	0.67	0.67	1.00	389.41	Yardas	≤
Sintético (forro)	0.50	1.00	1.50	519.20	Yardas	≤
Pegamento	26.67	33.43	36.81	17,389.69	Onza Líquida	≤
Hilo	1.82	2.21	2.63	1,387.57	Yardas	≤
Suela	2.00	2.00	2.00	1,038.40	Unidades	≤
<b>Mano de obra</b>						
Corte	41.40	56.40	61.80	27,648.00	Minutos	≤
Pegado	27.60	37.60	41.20	18,432.00	Minutos	≤
Cosido	30.10	30.10	34.30	16,128.00	Minutos	≤
Acabado	12.90	12.90	14.70	6,912.00	Minutos	≤
<b>Presupuestario</b>						
	60.53	62.47	70.47	35,000.00	Quetzales	≤
<b>Demanda mínima</b>						
Zapato casual para niño	1.00			60.00	Pares	≥
Zapato escolar para niño		1.00		75.00	Pares	≥
Zapato bota para niño			1.00	50.00	Pares	≥
<b>Utilidad</b>	40.00	50.00	60.00			

### 3.3.1 Solución del problema por el método simplex

a. Definir la función objetivo en forma matemática:

$$\text{F.O. MAX } Z = 40.00 X_1 + 50.00 X_2 + 60.00 X_3$$

b. Definición de las restricciones en forma de inecuaciones:

- 1)  $0.6667 X_1 + 0.6667 X_2 + 1.0000 X_3 \leq 389.4130$
- 2)  $0.5000 X_1 + 1.0000 X_2 + 1.5000 X_3 \leq 519.2000$
- 3)  $26.6667 X_1 + 33.4295 X_2 + 36.8109 X_3 \leq 17,389.6907$
- 4)  $1.8182 X_1 + 2.2136 X_2 + 2.6264 X_3 \leq 1,387.5727$
- 5)  $2.0000 X_1 + 2.0000 X_2 + 2.0000 X_3 \leq 1,038.4000$
- 6)  $41.4000 X_1 + 56.4000 X_2 + 61.8000 X_3 \leq 27,648.0000$
- 7)  $27.6000 X_1 + 37.6000 X_2 + 41.2000 X_3 \leq 18,432.0000$
- 8)  $30.1000 X_1 + 30.1000 X_2 + 34.3000 X_3 \leq 16,128.0000$
- 9)  $12.9000 X_1 + 12.9000 X_2 + 14.7000 X_3 \leq 6,912.0000$
- 10)  $60.5300 X_1 + 62.4700 X_2 + 70.4691 X_3 \leq 35,000.0000$
- 11)  $1.0000 X_1 + 0.0000 X_2 + 0.0000 X_3 \geq 60.0000$
- 12)  $0.0000 X_1 + 1.0000 X_2 + 0.0000 X_3 \geq 75.0000$
- 13)  $0.0000 X_1 + 0.0000 X_2 + 1.0000 X_3 \geq 50.0000$

c. Multiplicar las inecuaciones 11, 12 y 13 por -1, para cambiarle la forma al signo  $\geq$  a  $\leq$

- 11)  $1.0000 X_1 + 0.0000 X_2 + 0.0000 X_3 \geq 60.0000 (-1)$
  - 12)  $0.0000 X_1 + 1.0000 X_2 + 0.0000 X_3 \geq 75.0000 (-1)$
  - 13)  $0.0000 X_1 + 0.0000 X_2 + 1.0000 X_3 \geq 50.0000 (-1)$
- 
- 11)  $-1.0000 X_1 + 0.0000 X_2 + 0.0000 X_3 \geq -60.0000$
  - 12)  $0.0000 X_1 + -1.0000 X_2 + 0.0000 X_3 \geq -75.0000$
  - 13)  $0.0000 X_1 + 0.0000 X_2 + -1.0000 X_3 \geq -50.0000$



- f. Construir el primer tablero simplex ordenando los coeficientes y las constantes de las ecuaciones por renglón, en el último, incluir los coeficientes de la función objetivo igual a cero:

Primer tablero simplex

$X_1$	$X_2$	$X_3$	$H_1$	$H_2$	$H_3$	$H_4$	$H_5$	$H_6$	$H_7$	$H_8$	$H_9$	$H_{10}$	$H_{11}$	$H_{12}$	$H_{13}$	Z	C
0.6667	0.6667	1.0000	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	389.4130
0.5000	1.0000	<b>1.5000</b>	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	519.2000
26.6667	33.4295	36.8109	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	17,389.6907
1.8182	2.2136	2.6264	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,387.5727
2.0000	2.0000	2.0000	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,038.4000
41.4000	56.4000	61.8000	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	27,648.0000
27.6000	37.6000	41.2000	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	18,432.0000
30.1000	30.1000	34.3000	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	16,128.0000
12.9000	12.9000	14.7000	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	6,912.0000
60.5300	62.4700	70.4691	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	35,000.0000
-1.0000	0.0000	0.0000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	-60.0000
0.0000	-1.0000	0.0000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	-75.0000
0.0000	0.0000	-1.0000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	-50.0000
-40.0000	-50.0000	-60.0000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0.0000

**CP**

- g. Determinar la columna pivote (CP), la cual se identifica con el menor valor de los elementos de la fila de la función objetivo (última fila del tablero), para el presente caso es el -60.
- h. Encontrar el elemento pivote (EP), lo cual se logra, dividiendo cada uno de los valores de los elementos de la última columna, constante, entre el valor de cada elemento correspondiente de la fila (no negativo, no cero) de

la columna pivote. El menor cociente positivo indicará la fila en donde se encuentra el elemento pivote, de existir empate se toma cualquiera. Se presenta el cálculo para el primer tablero, siendo el menor cociente correspondiente a la fila del 346.13 ( $= 519.20 / 1.5$ ), por lo tanto, el elemento pivote se encuentra ubicado en la segunda fila y tercera columna del primer tablero (valor = 1.5). Ver anexo 3.

i. Convertir en uno, el valor del elemento pivote encontrado, lo cual se logra multiplicando el inverso de dicho valor por cada valor de los elementos de su fila, ordenando los resultados en la fila correspondiente del siguiente tablero, denominándose a esta nueva fila Pivote (FP). Ver anexo 3.

j. Convertir en cero los restantes valores de los elementos de la columna pivote, lo cual se logra, multiplicando el valor del elemento a convertir en cero con signo cambiado, por cada valor de los elementos de la fila pivote y al resultado parcial, el valor de los elementos correspondientes de la fila en donde se ubica el elemento a convertir a cero y los resultados colocarlos en la fila correspondiente al siguiente tablero.

Si uno o varios valores de la columna pivoten ya son cero, únicamente se copian los valores de la fila correspondiente en el siguiente tablero. Ver anexo 3.

Segundo tablero simplex

X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	H <sub>1</sub>	H <sub>2</sub>	H <sub>3</sub>	H <sub>4</sub>	H <sub>5</sub>	H <sub>6</sub>	H <sub>7</sub>	H <sub>8</sub>	H <sub>9</sub>	H <sub>10</sub>	H <sub>11</sub>	H <sub>12</sub>	H <sub>13</sub>	Z	C
0.3334	0.0000	0.0000	1.0000	-0.6667	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	43.2797
0.3333	0.6667	1.0000	0.0000	0.6667	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	346.1333
14.3964	8.8889	0.0000	0.0000	-24.5406	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4,648.2112
0.9427	0.4627	0.0000	0.0000	-1.7509	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	478.4881
1.3333	0.6667	0.0000	0.0000	-1.3333	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	346.1333
20.8000	15.2000	0.0000	0.0000	-41.2000	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	6,256.9600
13.8667	10.1333	0.0000	0.0000	-27.4667	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	4,171.3067
18.6667	7.2333	0.0000	0.0000	-22.8667	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	4,255.6267
8.0000	3.1000	0.0000	0.0000	-9.8000	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1,823.8400
37.0403	15.4906	0.0000	0.0000	-46.9794	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	10,608.3064
-1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	-60.0000
0.0000	-1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	-75.0000
0.3333	0.6667	0.0000	0.0000	0.6667	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	296.1333
-20.0000	-10.0000	0.0000	0.0000	40.0000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	20,768.0000

**CP**

Como hay valores negativos en la última fila, repetir los pasos del "g" al "j", hasta que todos los elementos de la última fila del tablero simplex (fila de la F.O.), sean positivos y/o ceros. Ver anexo 3.

Tercer tablero simplex

$X_1$	$X_2$	$X_3$	$H_1$	$H_2$	$H_3$	$H_4$	$H_5$	$H_6$	$H_7$	$H_8$	$H_9$	$H_{10}$	$H_{11}$	$H_{12}$	$H_{13}$	Z	C
1.0000	0.0001	0.0000	2.9997	-1.9998	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	129.8260
0.0000	0.6666	1.0000	-0.9999	1.3333	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	302.8580
0.0000	8.8875	0.0000	-43.1849	4.2493	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,779.1839
0.0000	0.4626	0.0000	-2.8279	0.1343	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	356.0968
0.0000	0.6665	0.0000	-3.9996	1.3331	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	173.0320
0.0000	15.1979	0.0000	-62.3938	0.3958	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	3,556.5788
0.0000	10.1319	0.0000	-41.5958	0.2639	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	2,371.0526
0.0000	7.2315	0.0000	-55.9944	14.4629	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1,832.2077
0.0000	3.0992	0.0000	-23.9976	6.1984	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	785.2319
0.0000	15.4869	0.0000	-111.1098	27.0938	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	5,799.5104
0.0000	0.0001	0.0000	2.9997	-1.9998	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	69.8260
0.0000	-1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	-75.0000
0.0000	0.6666	0.0000	-0.9999	1.3333	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	252.8580
0.0000	-9.9980	0.0000	59.9940	0.0040	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	23,364.5203

**CP**

Como hay valores negativos en la última fila, repetir los pasos del "g" al "j", hasta que todos los elementos de la última fila del tablero simplex (fila de la F.O.), sean positivos y/o ceros. Ver anexo 3

Cuarto tablero simplex

$X_1$	$X_2$	$X_3$	$H_1$	$H_2$	$H_3$	$H_4$	$H_5$	$H_6$	$H_7$	$H_8$	$H_9$	$H_{10}$	$H_{11}$	$H_{12}$	$H_{13}$	Z	C
1.0000	0.0000	0.0000	3.0001	-1.9998	0	0	0	0.0000	0	0	0	0	0	0	0	0	129.8026
0.0000	0.0000	1.0000	1.7369	1.3159	0	0	0	-0.0439	0	0	0	0	0	0	0	0	146.8541
0.0000	0.0000	0.0000	-6.6982	4.0178	1	0	0	-0.5848	0	0	0	0	0	0	0	0	699.3629
0.0000	0.0000	0.0000	-0.9289	0.1223	0	1	0	-0.0304	0	0	0	0	0	0	0	0	247.8468
0.0000	0.0000	0.0000	-1.2632	1.3157	0	0	1	-0.0439	0	0	0	0	0	0	0	0	17.0515
0.0000	1.0000	0.0000	-4.1054	0.0260	0	0	0	0.0658	0	0	0	0	0	0	0	0	234.0175
0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0	0	0	-0.6667	1	0	0	0	0	0	0	0	0.0000
0.0000	0.0000	0.0000	-26.3062	14.2746	0	0	0	-0.4758	0	1	0	0	0	0	0	0	139.9181
0.0000	0.0000	0.0000	-11.2741	6.1177	0	0	0	-0.2039	0	0	1	0	0	0	0	0	59.9649
0.0000	0.0000	0.0000	-47.5296	26.6905	0	0	0	-1.0190	0	0	0	1	0	0	0	0	2,175.3012
0.0000	0.0000	0.0000	3.0001	-1.9998	0	0	0	0.0000	0	0	0	0	1	0	0	0	69.8026
0.0000	0.0000	0.0000	-4.1054	0.0260	0	0	0	0.0658	0	0	0	0	0	1	0	0	159.0175
0.0000	0.0000	0.0000	1.7369	1.3159	0	0	0	-0.0439	0	0	0	0	0	0	1	0	96.8541
0.0000	0.0000	0.0000	18.9481	0.2644	0	0	0	0.6579	0	0	0	0	0	0	0	1	25,704.2271

Como el valor de los elementos de la última fila son ceros y/o positivos, este tablero proporciona la solución óptima. Se debe asignar un valor a las variables de decisión y de holgura.

k. Darles valor a las variables de decisión, holgura y función objetivo.

se logra ubicándose en el lugar de cada variable de decisión, holgura y función objetivo, en la primera fila, recorriendo de arriba hacia abajo hasta la posición del uno, recorriendo de izquierda a derecha hasta la columna de constantes. Si en la columna no se encuentra un uno acompañado de ceros, esta variable toma el valor de cero. Para el caso del tablero anterior.

X1	X2	X3	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H10	H11	H12	H13	Z	C
1	0	0	3.000111	-1.9998	0	0	0	-0.0439	0	0	0	0	0	0	0	0	129.8026
0	0	1	1.736906	1.3159	0	0	0	-0.0439	0	0	0	0	0	0	0	0	146.8541
0	0	0	-6.69817	4.01784	1	0	0	-0.5848	0	0	0	0	0	0	0	0	699.3629
0	0	0	-0.92887	0.1223	0	1	0	-0.0304	0	0	0	0	0	0	0	0	247.8468
0	0	0	-1.2632	1.31571	0	0	1	-0.0439	0	0	0	0	0	0	0	0	17.0515
0	1	0	-4.10541	0.02605	0	0	0	0.0658	0	0	0	0	0	0	0	0	234.0175
0	0	0	0	-2E-15	0	0	0	-0.6667	1	0	0	0	0	0	0	0	0.0000
0	0	0	-26.3062	14.2746	0	0	0	-0.4758	0	1	0	0	0	0	0	0	139.9181
0	0	0	-11.2741	6.11768	0	0	0	-0.2039	0	0	1	0	0	0	0	0	59.9649
0	0	0	-47.5296	26.6905	0	0	0	-1.019	0	0	0	1	0	0	0	0	2,175.3012
0	0	0	3.000111	-1.9998	0	0	0	0.0000	0	0	0	0	1	0	0	0	69.8026
0	0	0	-4.10541	0.02605	0	0	0	0.0658	0	0	0	0	0	1	0	0	159.0175
0	0	0	1.736906	1.3159	0	0	0	-0.0439	0	0	0	0	0	0	1	0	96.8541
0	0	0	18.94807	0.2644	0	0	0	0.65785	0	0	0	0	0	0	0	1	25,704.2271

Variables de decisión	Tipo de zapato	Pares de zapatos
X <sub>1</sub>	Casual para niño	192.8026
X <sub>2</sub>	Escolar para niño	234.0175
X <sub>3</sub>	Bota para niño	129.8026

Variables de holgura	Recurso	Cantidad	Unidad de medida
H <sub>1</sub>	Piel	0.0000	Yardas
H <sub>2</sub>	Sintético (forro)	0.0000	Yardas
H <sub>3</sub>	Pegamento	699.3629	Onzas liquidas
H <sub>4</sub>	Hilo	192.8026	Yardas
H <sub>5</sub>	Suela	247.8468	Unidades
H <sub>6</sub>	Corte	0.0000	Minutos
H <sub>7</sub>	Pegado	0.0000	Minutos
H <sub>8</sub>	Cosido	139.9181	Minutos
H <sub>9</sub>	Acabado	59.9649	Minutos
H <sub>10</sub>	Presupuesto	2,175.3012	Quetzales
H <sub>11</sub>	Casual para niño	69.8026	Pares
H <sub>12</sub>	Escolar para niño	159.0175	Pares
H <sub>13</sub>	Bota para niño	96.8541	Pares

Función Objetivo	Beneficio	Quetzales
Z	Utilidad	25,704.2271

- I. Comprobar en la función objetivo. Sustituir las variables de decisión por los valores calculados.

$$\text{F.O. MAX } Z = 40.00 X_1 + 50.00 X_2 + 60.00 X_3$$

$$\text{F.O. MAX } Z = 40.00 (129.8) + 50.00 (234.0) + 60.00 (146.9)$$

$$\text{F.O. MAX } Z = 25,704.2$$

m. Comprobar en las restricciones.

Para la comprobación de las restricciones, se sustituyen las variables de decisión por los valores calculados, la holgura es la diferencia entre lo utilizado y lo disponible.

Concepto de restricción	Por cada par de zapatos			Utilizado	Signo	Disponibilidad	Holgura	Unidad de medida
	X1	X2	X3					
<b>Producción</b>	<b>129.8</b>	<b>234.0</b>	<b>146.9</b>					
<b>Materia prima</b>								
Piel	0.6667	0.6667	1.0000	389.4	≤	389.4	0.0	Yardas
Sintético (forro)	0.5000	1.0000	1.5000	519.2	≤	519.2	0.0	Yardas
Pegamento	26.6667	33.4295	36.8109	16,690.3	≤	17,389.7	699.4	Onza Líquida
Hilo	1.8182	2.2136	2.6264	1,139.7	≤	1,387.6	247.8	Yardas
Suela	2.0000	2.0000	2.0000	1,021.3	≤	1,038.4	17.1	Unidades
<b>Mano de obra en minutos</b>								
Corte	41.4000	56.4000	61.8000	27,648.0	≤	27,648.0	0.0	Minutos
Pegado	27.6000	37.6000	41.2000	18,432.0	≤	18,432.0	0.0	Minutos
Cosido	30.1000	30.1000	34.3000	15,988.1	≤	16,128.0	139.9	Minutos
Acabado	12.9000	12.9000	14.7000	6,852.0	≤	6,912.0	60.0	Minutos
<b>Presupuestario</b>	<b>60.53</b>	<b>62.47</b>	<b>70.47</b>	<b>32,825.0</b>	<b>≤</b>	<b>35,000.0</b>	<b>2,175.0</b>	<b>Quetzales</b>
<b>Demanda mínima</b>								
Zapato casual para niño	1			129.8	≥	60.0	69.8	Pares
Zapato escolar para niño		1		234.0	≥	75.0	159.0	Pares
Zapato bota para niño			1	146.9	≥	50.0	96.9	Pares

### 3.3.2 Determinación de la programación de la producción óptima y utilización de inventarios

Se ha calculado que la empresa contará con una utilidad máxima de Q25, 704.23 mensuales, si produce un total de 510.67 unidades de calzado, así:

Tipo de zapato para niño	Producción pares
Casual	130
Escolar	234
Bota	147

Se ha determinado el siguiente cálculo de la utilidad parcial y total con la producción programada:

Tipo de zapato para niño talla 35	Pares producidos	Utilidad por unidad	Utilidad total
Casual	130	Q 40.00	Q 5,200.00
Escolar	234	Q 50.00	Q 11,700.00
Bota	147	Q 60.00	Q 8,820.00
<b>Utilidad máxima</b>			<b>Q 25,720.00</b>

La utilidad máxima de la empresa es de Q 25,720.00, -Q15.7729 más al valor proporcionado por el método simplex, derivado de las aproximaciones en la producción.

Se han estimado los valores de holgura con la producción programada de la siguiente manera:

<b>Materia prima</b>					<b>Utilizado</b>	<b>Disponible</b>	<b>Unidad de medida</b>	<b>Holgura</b>
Piel	0.6667	0.6667	1.0000 =	389.68	389.41		Yardas	(0.27)
Sintético (forro)	0.5000	1.0000	1.5000 =	519.50	519.20		Yardas	(0.30)
Pegamento	26.6667	33.4295	36.8109 =	16,700.38	17,389.69		Onza Liquida	689.31
Hilo	1.8182	2.2136	2.6264 =	1,140.44	1,387.57		Yardas	247.13
Suela	2.0000	2.0000	2.0000 =	1,022.00	1,038.40		Unidades	16.40
<b>Mano de obra</b>								
Corte	41	56	62 =	27,664.20	27,648		Minutos	(16.20)
Pegado	28	38	41 =	18,442.80	18,432		Minutos	(10.80)
Cosido	30	30	34 =	15,998.50	16,128		Minutos	129.50
Acabado	13	13	15 =	6,856.50	6,912		Minutos	55.50
<b>Presupuestario</b>								
Presupuesto	60.53	62.47	70.47 =	32,846.16	35,000.00		Quetzales	Q2,153.84

### **3.2 Propuesta metodológica según método simplex**

El método simplex es una herramienta que brinda el fundamento necesario para programar la producción de determinados bienes, en función de la disponibilidad de insumos, con los que se cuentan para determinado período. Es de vital importancia para la empresa mejorar el sistema de inventarios según lo necesario y sincronizar las compras con los requerimientos de producción, lo que le permitirá mejorar la calidad de su administración la cual incrementará aún más la utilidad esperada y efectivamente obtenida para el período.

Es necesario evaluar la aplicación del método simplex de programación lineal recurrentemente para maximizar las utilidades. Para implementar dicho sistema deberá contar con una base estadística sólida desde el punto de vista de los estándares de producción, en el dinamismo de la demanda de sus productos. Esto se debe a que el método simplex considera una demanda constante de bienes, lo cual requerirá de ajustes a los programas de producción ante estacionalidades en el ciclo de ventas.

## CONCLUSIONES

1. La empresa objeto de análisis carece de un instrumento técnico matemático, que permita planificar la producción de calzado en términos óptimos, ordenar la producción y a la vez, maximizar las ganancias. Se confirmó la hipótesis planteada y se determinó que esto ha causado elevados costos de operación y mala utilización de sus recursos disponibles, impactando así en los márgenes de ganancia.
2. Aplicando la herramienta matemática de programación lineal, a través del método simplex, se presenta una solución al problema y se pone a disposición de la empresa, un modelo matemático estadístico para optimizar los recursos y maximizar las utilidades. Se confirma la hipótesis planteada, ya que la empresa superará los problemas identificados de forma técnica, porque podrá encontrar una combinación de producción óptima que maximice sus utilidades.
3. Se determinó que el resultado óptimo de la producción de bienes que maximiza la utilidad para el período, según las restricciones impuestas, es de 129 unidades del Zapato Casual ( $X_1$ ), 234 unidades del Zapato Escolar ( $X_2$ ) y 146 unidades del Zapato Bota ( $X_3$ ), dando un total de 509 pares, lo cual está por arriba de la demanda mínima estimada. se determinó que existe un exceso de inventarios en los insumos, principalmente en pegamento, hilo, mano de obra y presupuesto.

4. El problema identificado ha surgido derivado de la carencia de planificación técnica de la producción, lo cual también condiciona toda la cadena de suministros de inventarios necesaria para determinado periodo. El control de los registros, la generación de estadísticas, la revisión y actualización periódica del modelo matemático estadístico, brindarán bases suficientes para evitar que este problema vuelva a suceder en el futuro.

## RECOMENDACIONES

1. Para reducir los costos de operación innecesarios y mala utilización de sus recursos disponibles, la empresa objeto de análisis deberá aplicar modelos matemáticos técnicamente fundamentados, para realizar la programación de la producción para los siguientes períodos. Esto requiere de constantes actualizaciones en estándares de producción e información estadística fiable. La mejora en la planificación de la producción en términos óptimos permitirá mejorar la competitividad e incrementar los márgenes de ganancia.
2. La empresa objeto de análisis deberá aplicar el método simplex en la programación de la producción de calzado, aunado a seguir de cerca los resultados obtenidos por dicho modelo. Esto permitirá mejorar el alcance de los objetivos esperados en términos de eficiencia, por ejemplo, en una mejor asignación y administración de los recursos disponibles.
3. Existe una amplia gama de posibilidades que la empresa puede seguir para programar su producción, esto se debe a que el método simplex permite la inclusión de un sin número de variables que afectan el proceso de producción. Se debe realiza un análisis post-óptimo de todas aquellas variables que no fueron consideradas en el método matemático, debido a que también forman parte fundamental de una cadena de efectos que deben ser considerados en la administración y planificación. La empresa deberá programar la producción en función de los resultados del análisis post-óptimo, lo cual permitirá la maximización de las utilidades.

4. Para la correcta aplicación de la herramienta matemático-estadística en función de los problemas de la administración de los recursos disponibles, la empresa debe mejorar su sistema de información, control y registro estadístico, lo cual permitirá mejorar los resultados obtenidos y tener un mejor fundamento para el análisis del proceso en la toma de decisiones.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Durán, Guillermo. Investigación de operaciones, modelos matemáticos y optimización. Seminario JUNAEB-DII. Chile. Centro de Gestión de Operaciones, Departamento de Ingeniería Industrial, Universidad de Chile. 2006. 57 páginas.
2. Frederick, Hillier, y Gerald, Lieberman. Introducción a la investigación de operaciones. 9a. ed. México. Mc Graw - Hill / Interamericana Editores, S.A. de C.V. 2010. 1,010 páginas.
3. García, Sabater y otros. Modelos y métodos de Investigación de Operaciones. Procedimientos para pensar. Documento de trabajo. España. Grupo de Investigación ROGLE. Departamento de Organización de Empresas. 2012. 171 páginas.
4. Herrera, Ana, y Patrilli, Héctor. Introducción a la Programación Lineal. Documento de trabajo. Uruguay. 2003. 61 páginas.
5. Sydsaeter, Knut. y Hammond, Peter. Matemática para el análisis económico. España. Prentice Hall. 1996. 789 páginas.
6. Taha, Hamdy. Investigación de operaciones. 7a ed. México. Pearson Educación, 2004. 850 páginas.
7. Taha, Hamdy. Investigación de operaciones. 9a ed. México. Pearson Educación, 2012. 824 páginas.

8. Universidad de la República Oriental del Uruguay. Introducción a la Investigación de Operaciones. Uruguay. Fundación de Cultura Universitaria. 2001. 164 páginas.

# **ANEXOS**

**ANEXO 1**  
**BASE DE DATOS**

<b>Tipos de productos producidos</b>	<b>Producción promedio</b>
Zapato casual para niño (talla 35)	110
Zapato escolar para niño (talla 35)	220
Zapato bota para niño (talla 35)	110

Información de las restricciones a nivel general:

<b>Materia prima</b>	<b>Unidad de medida</b>	<b>Inventario promedio</b>	<b>Inventario disponible</b>
Piel	Yardas	330	389
Sintético (forro)	Yardas	440	519
Pegamento	Onza Liquida	14,737	17,390
Hilo	Yardas	1,176	1,388
Suela	Unidades	880	1,038

**Mano de obra en minutos**

Proporción del  
tiempo por actividad

Corte	Minutos	8 empleados que trabajan 4 horas al día en la producción de dichos productos.	60%
Pegado	Minutos	8 empleados que trabajan 4 horas al día en la producción de dichos productos.	40%
Cocido	Minutos	4 empleados que trabajan 4 horas al día en la producción de dichos productos.	70%
Acabado	Minutos	4 empleados que trabajan 4 horas al día en la producción de dichos productos.	30%

**Presupuestario**

Presupuesto Quetzales 35,000.00

<b>Estimación de la utilización de la mano de obra</b>					
<b>Corte</b>	<b>y</b>	<b>Pegado</b>	<b>Cocido</b>	<b>y</b>	<b>Acabado</b>
Días laborados		5	Días laborados		5
Horas diarias		4	Horas diarias		4
Horas del sábado		4	Horas del sábado		4
Horas a la semana		24	Horas a la semana		24
Semanas		4	Semanas		4
Horas al mes		96	Horas al mes		96
Empleados		8	Empleados		4
Horas hombre		768	Horas hombre		384
Minutos por hora		60	Minutos por hora		60
<b>Total minutos</b>		<b>46,080</b>	<b>Total minutos</b>		<b>23,040</b>

Utilización promedio de los insumos por unidad:

**Piel - Yardas**

<b>Producto</b>	<b>Utilización media</b>
Zapato casual para niño (talla 35)	0.6667
Zapato escolar para niño (talla 35)	0.6667
Zapato bota para niño (talla 35)	1.0000

**Sintético (forro) - Yardas**

<b>Producto</b>	<b>Utilización media</b>
Zapato casual para niño (talla 35)	0.5000
Zapato escolar para niño (talla 35)	1.0000
Zapato bota para niño (talla 35)	1.5000

**Pegamento - Onza Liquida**

<b>Producto</b>	<b>Utilización media</b>
Zapato casual para niño (talla 35)	26.6667
Zapato escolar para niño (talla 35)	33.4295
Zapato bota para niño (talla 35)	36.8109

**Hilo - Yardas**

<b>Producto</b>	<b>Utilización media</b>
Zapato casual para niño (talla 35)	1.8182
Zapato escolar para niño (talla 35)	2.2136
Zapato bota para niño (talla 35)	2.6264

**Suela - Unidades**

<b>Producto</b>	<b>Utilización media</b>
Zapato casual para niño (talla 35)	2.0000
Zapato escolar para niño (talla 35)	2.0000
Zapato bota para niño (talla 35)	2.0000

**Corte y pegado - Minutos**

<b>Producto</b>	<b>Utilización media</b>
Zapato casual para niño (talla 35)	41.4000
Zapato escolar para niño (talla 35)	56.4000
Zapato bota para niño (talla 35)	61.8000

### **Cocido y acabado - Minutos**

<b>Producto</b>	<b>Utilización media</b>
Zapato casual para niño (talla 35)	30.1000
Zapato escolar para niño (talla 35)	30.1000
Zapato bota para niño (talla 35)	34.3000

### **Presupuesto - Quetzales**

<b>Producto</b>	<b>Utilización media</b>
Zapato casual para niño (talla 35)	60.5342
Zapato escolar para niño (talla 35)	62.4691
Zapato bota para niño (talla 35)	70.4691

**ANEXO 2**  
**PRODUCCIÓN MENSUAL 2015**

<b>Mes</b>	<b>Producción mensual</b>		
	<b>Zapato casual</b>	<b>Zapato escolar</b>	<b>Zapato bota</b>
Enero	102	290	110
Febrero	105	280	100
Marzo	108	260	102
Abril	110	210	110
Mayo	110	210	120
Junio	100	200	110
Julio	110	190	100
Agosto	105	195	93
Septiembre	100	175	95
Octubre	110	170	100
Noviembre	120	180	130
Diciembre	140	280	150
<b>Producción promedio</b>	<b>110</b>	<b>220</b>	<b>110</b>

Fuente: información proporcionada por la empresa objeto de análisis.

**ANEXO 3**  
**CÁLCULOS MATEMÁTICOS POR EL MÉTODO SIMPLEX**

**ELEMENTO PIVOTE PRIMER TABLERO**

Elemento pivote

389.4130 / 1.0000 = 389.4130
519.2000 / 1.5000 = <b>346.1333</b>
17,389.6907 / 36.8109 = 472.4060
1,387.5727 / 2.6264 = 528.3081
1,038.4000 / 2.0000 = 519.2000
27,648.0000 / 61.8000 = 447.3786
18,432.0000 / 41.2000 = 447.3786
16,128.0000 / 34.3000 = 470.2041
6,912.0000 / 14.7000 = 470.2041
35,000.0000 / 70.4691 = 496.6718
-60.0000 / 0.0000 =
-75.0000 / 0.0000 =
-50.0000 / -1.0000 =

**CONVERTIR EN 1, EL ELEMENTO PIVOTE, PRIMER TABLERO SIMPLEX**

	<b>Inverso EP</b>	*	<b>Fila EP</b>	=	<b>Fila pivote</b>
X <sub>1</sub>	0.6667	*	0.5000	=	0.3333
X <sub>2</sub>	0.6667	*	1.0000	=	0.6667
X <sub>3</sub>	0.6667	*	1.5000	=	1.0000
H <sub>1</sub>	0.6667	*	0.0000	=	0.0000
H <sub>2</sub>	0.6667	*	1.0000	=	0.6667
H <sub>3</sub>	0.6667	*	0.0000	=	0.0000
H <sub>4</sub>	0.6667	*	0.0000	=	0.0000
H <sub>5</sub>	0.6667	*	0.0000	=	0.0000
H <sub>6</sub>	0.6667	*	0.0000	=	0.0000
H <sub>7</sub>	0.6667	*	0.0000	=	0.0000
H <sub>8</sub>	0.6667	*	0.0000	=	0.0000
H <sub>9</sub>	0.6667	*	0.0000	=	0.0000

H <sub>10</sub>	0.6667	*	0.0000	=	0.0000
H <sub>11</sub>	0.6667	*	0.0000	=	0.0000
H <sub>12</sub>	0.6667	*	0.0000	=	0.0000
H <sub>13</sub>	0.6667	*	0.0000	=	0.0000
Z	0.6667	*	0.0000	=	0.0000
C	0.6667	*	519.2000	=	346.1333

CONVERTIR EN CERO, LOS RESTANTES VALORES DE LA COLUMNA PIVOTE, PRIMER TABLERO SIMPLEX

	<b>Valor a convertir en cero</b>		<b>Fila pivote</b>		<b>Valores fila del elemento a convertir</b>		
X <sub>1</sub>	-1.0000	*	0.3333	=	-0.3333	+	0.6667 = 0.3334
X <sub>2</sub>	-1.0000	*	0.6667	=	-0.6667	+	0.6667 = 0.0000
X <sub>3</sub>	-1.0000	*	1.0000	=	-1.0000	+	1.0000 = 0.0000
H <sub>1</sub>	-1.0000	*	0.0000	=	0.0000	+	1.0000 = 1.0000
H <sub>2</sub>	-1.0000	*	0.6667	=	-0.6667	+	0.0000 = -0.6667
H <sub>3</sub>	-1.0000	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000 = 0.0000
H <sub>4</sub>	-1.0000	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000 = 0.0000
H <sub>5</sub>	-1.0000	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000 = 0.0000
H <sub>6</sub>	-1.0000	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000 = 0.0000
H <sub>7</sub>	-1.0000	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000 = 0.0000
H <sub>8</sub>	-1.0000	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000 = 0.0000
H <sub>9</sub>	-1.0000	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000 = 0.0000
H <sub>10</sub>	-1.0000	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000 = 0.0000
H <sub>11</sub>	-1.0000	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000 = 0.0000
H <sub>12</sub>	-1.0000	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000 = 0.0000
H <sub>13</sub>	-1.0000	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000 = 0.0000
Z	-1.0000	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000 = 0.0000
C	-1.0000	*	346.1333	=	-346.1333	+	389.4130 = 43.2797

	<b>Valor a convertir en cero</b>		<b>Fila pivote</b>			<b>Valores fila del elemento a convertir</b>	
X <sub>1</sub>	-36.8109	*	0.3333	=	-12.2703	+	26.6667 = 14.3964
X <sub>2</sub>	-36.8109	*	0.6667	=	-24.5406	+	33.4295 = 8.8889
X <sub>3</sub>	-36.8109	*	1.0000	=	-36.8109	+	36.8109 = 0.0000
H <sub>1</sub>	-36.8109	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000 = 0.0000
H <sub>2</sub>	-36.8109	*	0.6667	=	-24.5406	+	0.0000 = -24.5406
H <sub>3</sub>	-36.8109	*	0.0000	=	0.0000	+	1.0000 = 1.0000
H <sub>4</sub>	-36.8109	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000 = 0.0000
H <sub>5</sub>	-36.8109	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000 = 0.0000
H <sub>6</sub>	-36.8109	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000 = 0.0000
H <sub>7</sub>	-36.8109	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000 = 0.0000
H <sub>8</sub>	-36.8109	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000 = 0.0000
H <sub>9</sub>	-36.8109	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000 = 0.0000
H <sub>10</sub>	-36.8109	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000 = 0.0000
H <sub>11</sub>	-36.8109	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000 = 0.0000
H <sub>12</sub>	-36.8109	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000 = 0.0000
H <sub>13</sub>	-36.8109	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000 = 0.0000
Z	-36.8109	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000 = 0.0000
C	-36.8109	*	346.1333	=	12,741.4795 <sup>-</sup>	+	17,389.6907 = 4,648.2112

	<b>Valor a convertir en cero</b>		<b>Fila pivote</b>			<b>Valores fila del elemento a convertir</b>	
X <sub>1</sub>	-2.6264	*	0.3333	=	-0.8755	+	1.8182 = 0.9427
X <sub>2</sub>	-2.6264	*	0.6667	=	-1.7509	+	2.2136 = 0.4627
X <sub>3</sub>	-2.6264	*	1.0000	=	-2.6264	+	2.6264 = 0.0000
H <sub>1</sub>	-2.6264	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000 = 0.0000
H <sub>2</sub>	-2.6264	*	0.6667	=	-1.7509	+	0.0000 = -1.7509
H <sub>3</sub>	-2.6264	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000 = 0.0000
H <sub>4</sub>	-2.6264	*	0.0000	=	0.0000	+	1.0000 = 1.0000

H5	-2.6264	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H6	-2.6264	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H7	-2.6264	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H8	-2.6264	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H9	-2.6264	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H10	-2.6264	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H11	-2.6264	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H12	-2.6264	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H13	-2.6264	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
Z	-2.6264	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
C	-2.6264	*	346.1333	=	-909.0846	+	1,387.5727	=	478.4881

	<b>Valor a convertir en cero</b>		<b>Fila pivote</b>		<b>Valores fila del elemento a convertir</b>				
X1	-2.0000	*	0.3333	=	-0.6667	+	2.0000	=	1.3333
X2	-2.0000	*	0.6667	=	-1.3333	+	2.0000	=	0.6667
X3	-2.0000	*	1.0000	=	-2.0000	+	2.0000	=	0.0000
H1	-2.0000	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H2	-2.0000	*	0.6667	=	-1.3333	+	0.0000	=	-1.3333
H3	-2.0000	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H4	-2.0000	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H5	-2.0000	*	0.0000	=	0.0000	+	1.0000	=	1.0000
H6	-2.0000	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H7	-2.0000	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H8	-2.0000	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H9	-2.0000	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H10	-2.0000	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H11	-2.0000	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H12	-2.0000	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H13	-2.0000	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
Z	-2.0000	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000

$$C \quad | \quad -2.0000 \quad * \quad 346.1333 \quad = \quad -692.2667 \quad + \quad 1,038.4000 \quad = \quad 346.1333$$

	<b>Valor a convertir en cero</b>		<b>Fila pivote</b>		<b>Valores fila del elemento a convertir</b>		
X <sub>1</sub>	-61.8000	*	0.3333	=	-20.6000	+	41.4000 = 20.8000
X <sub>2</sub>	-61.8000	*	0.6667	=	-41.2000	+	56.4000 = 15.2000
X <sub>3</sub>	-61.8000	*	1.0000	=	-61.8000	+	61.8000 = 0.0000
H <sub>1</sub>	-61.8000	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000 = 0.0000
H <sub>2</sub>	-61.8000	*	0.6667	=	-41.2000	+	0.0000 = -41.2000
H <sub>3</sub>	-61.8000	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000 = 0.0000
H <sub>4</sub>	-61.8000	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000 = 0.0000
H <sub>5</sub>	-61.8000	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000 = 0.0000
H <sub>6</sub>	-61.8000	*	0.0000	=	0.0000	+	1.0000 = 1.0000
H <sub>7</sub>	-61.8000	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000 = 0.0000
H <sub>8</sub>	-61.8000	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000 = 0.0000
H <sub>9</sub>	-61.8000	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000 = 0.0000
H <sub>10</sub>	-61.8000	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000 = 0.0000
H <sub>11</sub>	-61.8000	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000 = 0.0000
H <sub>12</sub>	-61.8000	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000 = 0.0000
H <sub>13</sub>	-61.8000	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000 = 0.0000
Z	-61.8000	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000 = 0.0000
C	-61.8000	*	346.1333	=	21,391.0400	+	27,648.0000 = 6,256.9600

	<b>Valor a convertir en cero</b>		<b>Fila pivote</b>		<b>Valores fila del elemento a convertir</b>		
X <sub>1</sub>	-41.2000	*	0.3333	=	-13.7333	+	27.6000 = 13.8667
X <sub>2</sub>	-41.2000	*	0.6667	=	-27.4667	+	37.6000 = 10.1333
X <sub>3</sub>	-41.2000	*	1.0000	=	-41.2000	+	41.2000 = 0.0000
H <sub>1</sub>	-41.2000	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000 = 0.0000
H <sub>2</sub>	-41.2000	*	0.6667	=	-27.4667	+	0.0000 = -27.4667

H3	-41.2000	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H4	-41.2000	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H5	-41.2000	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H6	-41.2000	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H7	-41.2000	*	0.0000	=	0.0000	+	1.0000	=	1.0000
H8	-41.2000	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H9	-41.2000	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H10	-41.2000	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H11	-41.2000	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H12	-41.2000	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H13	-41.2000	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
Z	-41.2000	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
C	-41.2000	*	346.1333	=	14,260.6933	+	18,432.0000	=	4,171.3067

	<b>Valor a convertir en cero</b>		<b>Fila pivote</b>		<b>Valores fila del elemento a convertir</b>				
X1	-34.3000	*	0.3333	=	-11.4333	+	30.1000	=	18.6667
X2	-34.3000	*	0.6667	=	-22.8667	+	30.1000	=	7.2333
X3	-34.3000	*	1.0000	=	-34.3000	+	34.3000	=	0.0000
H1	-34.3000	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H2	-34.3000	*	0.6667	=	-22.8667	+	0.0000	=	-22.8667
H3	-34.3000	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H4	-34.3000	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H5	-34.3000	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H6	-34.3000	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H7	-34.3000	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H8	-34.3000	*	0.0000	=	0.0000	+	1.0000	=	1.0000
H9	-34.3000	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H10	-34.3000	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H11	-34.3000	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000

H <sub>12</sub>	-34.3000	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H <sub>13</sub>	-34.3000	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
Z	-34.3000	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
C	-34.3000	*	346.1333	=	-11,872.3733	+	16,128.0000	=	4,255.6267

	<b>Valor a convertir en cero</b>		<b>Fila pivote</b>				<b>Valores fila del elemento a convertir</b>		
X <sub>1</sub>	-14.7000	*	0.3333	=	-4.9000	+	12.9000	=	8.0000
X <sub>2</sub>	-14.7000	*	0.6667	=	-9.8000	+	12.9000	=	3.1000
X <sub>3</sub>	-14.7000	*	1.0000	=	-14.7000	+	14.7000	=	0.0000
H <sub>1</sub>	-14.7000	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H <sub>2</sub>	-14.7000	*	0.6667	=	-9.8000	+	0.0000	=	-9.8000
H <sub>3</sub>	-14.7000	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H <sub>4</sub>	-14.7000	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H <sub>5</sub>	-14.7000	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H <sub>6</sub>	-14.7000	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H <sub>7</sub>	-14.7000	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H <sub>8</sub>	-14.7000	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H <sub>9</sub>	-14.7000	*	0.0000	=	0.0000	+	1.0000	=	1.0000
H <sub>10</sub>	-14.7000	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H <sub>11</sub>	-14.7000	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H <sub>12</sub>	-14.7000	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H <sub>13</sub>	-14.7000	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
Z	-14.7000	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
C	-14.7000	*	346.1333	=	-5,088.1600	+	6,912.0000	=	1,823.8400

	<b>Valor a convertir en cero</b>		<b>Fila pivote</b>			<b>Valores fila del elemento a convertir</b>	
X <sub>1</sub>	-70.4691	*	0.3333	=	-23.4897	+	60.5300 = 37.0403
X <sub>2</sub>	-70.4691	*	0.6667	=	-46.9794	+	62.4700 = 15.4906
X <sub>3</sub>	-70.4691	*	1.0000	=	-70.4691	+	70.4691 = 0.0000
H <sub>1</sub>	-70.4691	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000 = 0.0000
H <sub>2</sub>	-70.4691	*	0.6667	=	-46.9794	+	0.0000 = -46.9794
H <sub>3</sub>	-70.4691	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000 = 0.0000
H <sub>4</sub>	-70.4691	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000 = 0.0000
H <sub>5</sub>	-70.4691	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000 = 0.0000
H <sub>6</sub>	-70.4691	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000 = 0.0000
H <sub>7</sub>	-70.4691	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000 = 0.0000
H <sub>8</sub>	-70.4691	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000 = 0.0000
H <sub>9</sub>	-70.4691	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000 = 0.0000
H <sub>10</sub>	-70.4691	*	0.0000	=	0.0000	+	1.0000 = 1.0000
H <sub>11</sub>	-70.4691	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000 = 0.0000
H <sub>12</sub>	-70.4691	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000 = 0.0000
H <sub>13</sub>	-70.4691	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000 = 0.0000
Z	-70.4691	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000 = 0.0000
C	-70.4691	*	346.1333	=	-24,391.6936	+	35,000.0000 = 10,608.3064

	<b>Valor a convertir en cero</b>		<b>Fila pivote</b>			<b>Valores fila del elemento a convertir</b>	
X <sub>1</sub>	1.0000	*	0.3333	=	0.3333	+	0.0000 = 0.3333
X <sub>2</sub>	1.0000	*	0.6667	=	0.6667	+	0.0000 = 0.6667
X <sub>3</sub>	1.0000	*	1.0000	=	1.0000	+	-1.0000 = 0.0000
H <sub>1</sub>	1.0000	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000 = 0.0000
H <sub>2</sub>	1.0000	*	0.6667	=	0.6667	+	0.0000 = 0.6667
H <sub>3</sub>	1.0000	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000 = 0.0000
H <sub>4</sub>	1.0000	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000 = 0.0000

H5	1.0000	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H6	1.0000	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H7	1.0000	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H8	1.0000	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H9	1.0000	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H10	1.0000	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H11	1.0000	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H12	1.0000	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H13	1.0000	*	0.0000	=	0.0000	+	1.0000	=	1.0000
Z	1.0000	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
C	1.0000	*	346.1333	=	346.1333	+	-50.0000	=	296.1333

	<b>Valor a convertir en cero</b>		<b>Fila pivote</b>		<b>Valores fila del elemento a convertir</b>				
X1	60.0000	*	0.3333	=	20.0000	+	-40.0000	=	-20.0000
X2	60.0000	*	0.6667	=	40.0000	+	-50.0000	=	-10.0000
X3	60.0000	*	1.0000	=	60.0000	+	-60.0000	=	0.0000
H1	60.0000	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H2	60.0000	*	0.6667	=	40.0000	+	0.0000	=	40.0000
H3	60.0000	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H4	60.0000	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H5	60.0000	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H6	60.0000	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H7	60.0000	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H8	60.0000	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H9	60.0000	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H10	60.0000	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H11	60.0000	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H12	60.0000	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H13	60.0000	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
Z	60.0000	*	0.0000	=	0.0000	+	1.0000	=	1.0000

$$C \mid 60.0000 * 346.1333 = 20,768.0000 + 0.0000 = 20,768.0000$$

### ELEMENTO PIVOTE SEGUNDO TABLERO SIMPLEX

Elemento pivote

43.2797 / 0.3334 = <b>129.8260</b>
346.1333 / 0.3333 = 1038.4000
4,648.2112 / 14.3964 = 322.8732
478.4881 / 0.9427 = 507.5540
346.1333 / 1.3333 = 259.6000
6,256.9600 / 20.8000 = 300.8154
4,171.3067 / 13.8667 = 300.8154
4,255.6267 / 18.6667 = 227.9800
1,823.8400 / 8.0000 = 227.9800
10,608.3064 / 37.0403 = 286.3990
-60.0000 / -1.0000 =
-75.0000 / 0.0000 =
296.1333 / 0.3333 = 888.4000

### CONVERTIR EN UNO EL ELEMENTO PIVOTE, SEGUNDO TABLERO SIMPLEX

	Inverso EP	*	Fila EP	=	Fila pivote
X <sub>1</sub>	2.9997	*	0.3334	=	1.0000
X <sub>2</sub>	2.9997	*	0.0000	=	0.0000
X <sub>3</sub>	2.9997	*	0.0000	=	0.0000
H <sub>1</sub>	2.9997	*	1.0000	=	2.9997
H <sub>2</sub>	2.9997	*	-0.6667	=	-1.9998
H <sub>3</sub>	2.9997	*	0.0000	=	0.0000
H <sub>4</sub>	2.9997	*	0.0000	=	0.0000
H <sub>5</sub>	2.9997	*	0.0000	=	0.0000
H <sub>6</sub>	2.9997	*	0.0000	=	0.0000

H7	2.9997	*	0.0000	=	0.0000
H8	2.9997	*	0.0000	=	0.0000
H9	2.9997	*	0.0000	=	0.0000
H10	2.9997	*	0.0000	=	0.0000
H11	2.9997	*	0.0000	=	0.0000
H12	2.9997	*	0.0000	=	0.0000
H13	2.9997	*	0.0000	=	0.0000
Z	2.9997	*	0.0000	=	0.0000
C	2.9997	*	43.2797	=	129.8260

CONVERTIR EN CERO LOS VALORES DE LA COLUMNA PIVOTE, SEGUNDO  
TABLERO SIMPLEX

	<b>Valor a convertir en cero</b>		<b>Fila pivote</b>			<b>Valores fila del elemento a convertir</b>			
X1	-0.3333	*	1.0000	=	-0.3333	+	0.3333	=	0.0000
X2	-0.3333	*	0.0000	=	0.0000	+	0.6667	=	0.6667
X3	-0.3333	*	0.0000	=	0.0000	+	1.0000	=	1.0000
H1	-0.3333	*	2.9997	=	-0.9999	+	0.0000	=	-0.9999
H2	-0.3333	*	-1.9998	=	0.6666	+	0.6667	=	1.3333
H3	-0.3333	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H4	-0.3333	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H5	-0.3333	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H6	-0.3333	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H7	-0.3333	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H8	-0.3333	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H9	-0.3333	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H10	-0.3333	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H11	-0.3333	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H12	-0.3333	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H13	-0.3333	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
Z	-0.3333	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000

	<b>Valor a convertir en cero</b>	*	<b>Fila pivote</b>	=	+	<b>Valores fila del elemento a convertir</b>	=		
C	-0.3333	*	129.8260	=	-43.2753	+	346.1333	=	302.8580
X <sub>1</sub>	-14.3964	*	1.0000	=	-14.3964	+	14.3964	=	0.0000
X <sub>2</sub>	-14.3964	*	0.0000	=	0.0000	+	8.8889	=	8.8889
X <sub>3</sub>	-14.3964	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H <sub>1</sub>	-14.3964	*	2.9997	=	-43.1849	+	0.0000	=	-43.1849
H <sub>2</sub>	-14.3964	*	-1.9998	=	28.7899	+	-24.5406	=	4.2493
H <sub>3</sub>	-14.3964	*	0.0000	=	0.0000	+	1.0000	=	1.0000
H <sub>4</sub>	-14.3964	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H <sub>5</sub>	-14.3964	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H <sub>6</sub>	-14.3964	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H <sub>7</sub>	-14.3964	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H <sub>8</sub>	-14.3964	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H <sub>9</sub>	-14.3964	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H <sub>10</sub>	-14.3964	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H <sub>11</sub>	-14.3964	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H <sub>12</sub>	-14.3964	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H <sub>13</sub>	-14.3964	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
Z	-14.3964	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
C	-14.3964	*	129.8260	=	-1,869.0273	+	4,648.2112	=	2,779.1839

	<b>Valor a convertir en cero</b>	*	<b>Fila pivote</b>	=	+	<b>Valores fila del elemento a convertir</b>	=		
X <sub>1</sub>	-0.9427	*	1.0000	=	-0.9427	+	0.9427	=	0.0000
X <sub>2</sub>	-0.9427	*	0.0000	=	0.0000	+	0.4627	=	0.4627
X <sub>3</sub>	-0.9427	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H <sub>1</sub>	-0.9427	*	2.9997	=	-2.8279	+	0.0000	=	-2.8279
H <sub>2</sub>	-0.9427	*	-1.9998	=	1.8853	+	-1.7509	=	0.1343
H <sub>3</sub>	-0.9427	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000

H4	-0.9427	*	0.0000	=	0.0000	+	1.0000	=	1.0000
H5	-0.9427	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H6	-0.9427	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H7	-0.9427	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H8	-0.9427	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H9	-0.9427	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H10	-0.9427	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H11	-0.9427	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H12	-0.9427	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H13	-0.9427	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
Z	-0.9427	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
C	-0.9427	*	129.8260	=	-122.3913	+	478.4881	=	356.0968

	<b>Valor a convertir en cero</b>		<b>Fila pivote</b>		<b>Valores fila del elemento a convertir</b>				
X1	-1.3333	*	1.0000	=	-1.3333	+	1.3333	=	0.0000
X2	-1.3333	*	0.0000	=	0.0000	+	0.6667	=	0.6667
X3	-1.3333	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H1	-1.3333	*	2.9997	=	-3.9996	+	0.0000	=	-3.9996
H2	-1.3333	*	-1.9998	=	2.6664	+	-1.3333	=	1.3331
H3	-1.3333	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H4	-1.3333	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H5	-1.3333	*	0.0000	=	0.0000	+	1.0000	=	1.0000
H6	-1.3333	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H7	-1.3333	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H8	-1.3333	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H9	-1.3333	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H10	-1.3333	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H11	-1.3333	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H12	-1.3333	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H13	-1.3333	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000

Z	-1.3333	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
C	-1.3333	*	129.8260	=	-173.1014	+	346.1333	=	173.0320

	<b>Valor a convertir en cero</b>		<b>Fila pivote</b>				<b>Valores fila del elemento a convertir</b>		
X <sub>1</sub>	-20.8000	*	1.0000	=	-20.8000	+	20.8000	=	0.0000
X <sub>2</sub>	-20.8000	*	0.0000	=	0.0000	+	15.2000	=	15.2000
X <sub>3</sub>	-20.8000	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H <sub>1</sub>	-20.8000	*	2.9997	=	-62.3938	+	0.0000	=	-62.3938
H <sub>2</sub>	-20.8000	*	-1.9998	=	41.5958	+	-41.2000	=	0.3958
H <sub>3</sub>	-20.8000	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H <sub>4</sub>	-20.8000	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H <sub>5</sub>	-20.8000	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H <sub>6</sub>	-20.8000	*	0.0000	=	0.0000	+	1.0000	=	1.0000
H <sub>7</sub>	-20.8000	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H <sub>8</sub>	-20.8000	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H <sub>9</sub>	-20.8000	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H <sub>10</sub>	-20.8000	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H <sub>11</sub>	-20.8000	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H <sub>12</sub>	-20.8000	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H <sub>13</sub>	-20.8000	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
Z	-20.8000	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
C	-20.8000	*	129.8260	=	-2,700.3812	+	6,256.9600	=	3,556.5788

	<b>Valor a convertir en cero</b>		<b>Fila pivote</b>				<b>Valores fila del elemento a convertir</b>		
X <sub>1</sub>	-13.8667	*	1.0000	=	-13.8667	+	13.8667	=	0.0000
X <sub>2</sub>	-13.8667	*	0.0000	=	0.0000	+	10.1333	=	10.1333
X <sub>3</sub>	-13.8667	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H <sub>1</sub>	-13.8667	*	2.9997	=	-41.5958	+	0.0000	=	-41.5958

H <sub>2</sub>	-13.8667	*	-1.9998	=	27.7306	+	-27.4667	=	0.2639
H <sub>3</sub>	-13.8667	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H <sub>4</sub>	-13.8667	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H <sub>5</sub>	-13.8667	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H <sub>6</sub>	-13.8667	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H <sub>7</sub>	-13.8667	*	0.0000	=	0.0000	+	1.0000	=	1.0000
H <sub>8</sub>	-13.8667	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H <sub>9</sub>	-13.8667	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H <sub>10</sub>	-13.8667	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H <sub>11</sub>	-13.8667	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H <sub>12</sub>	-13.8667	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H <sub>13</sub>	-13.8667	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
Z	-13.8667	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
C	-13.8667	*	129.8260	=	-1,800.2541	+	4,171.3067	=	2,371.0526

	<b>Valor a convertir en cero</b>		<b>Fila pivote</b>		<b>Valores fila del elemento a convertir</b>				
X <sub>1</sub>	-18.6667	*	1.0000	=	-18.6667	+	18.6667	=	0.0000
X <sub>2</sub>	-18.6667	*	0.0000	=	0.0000	+	7.2333	=	7.2333
X <sub>3</sub>	-18.6667	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H <sub>1</sub>	-18.6667	*	2.9997	=	-55.9944	+	0.0000	=	-55.9944
H <sub>2</sub>	-18.6667	*	-1.9998	=	37.3296	+	-22.8667	=	14.4629
H <sub>3</sub>	-18.6667	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H <sub>4</sub>	-18.6667	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H <sub>5</sub>	-18.6667	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H <sub>6</sub>	-18.6667	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H <sub>7</sub>	-18.6667	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H <sub>8</sub>	-18.6667	*	0.0000	=	0.0000	+	1.0000	=	1.0000
H <sub>9</sub>	-18.6667	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H <sub>10</sub>	-18.6667	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H <sub>11</sub>	-18.6667	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000

H <sub>12</sub>	-18.6667	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H <sub>13</sub>	-18.6667	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
Z	-18.6667	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
C	-18.6667	*	129.8260	=	-2,423.4190	+	4,255.6267	=	1,832.2077

	<b>Valor a convertir en cero</b>		<b>Fila pivote</b>				<b>Valores fila del elemento a convertir</b>		
X <sub>1</sub>	-8.0000	*	1.0000	=	-8.0000	+	8.0000	=	0.0000
X <sub>2</sub>	-8.0000	*	0.0000	=	0.0000	+	3.1000	=	3.1000
X <sub>3</sub>	-8.0000	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H <sub>1</sub>	-8.0000	*	2.9997	=	-23.9976	+	0.0000	=	-23.9976
H <sub>2</sub>	-8.0000	*	-1.9998	=	15.9984	+	-9.8000	=	6.1984
H <sub>3</sub>	-8.0000	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H <sub>4</sub>	-8.0000	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H <sub>5</sub>	-8.0000	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H <sub>6</sub>	-8.0000	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H <sub>7</sub>	-8.0000	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H <sub>8</sub>	-8.0000	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H <sub>9</sub>	-8.0000	*	0.0000	=	0.0000	+	1.0000	=	1.0000
H <sub>10</sub>	-8.0000	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H <sub>11</sub>	-8.0000	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H <sub>12</sub>	-8.0000	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H <sub>13</sub>	-8.0000	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
Z	-8.0000	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
C	-8.0000	*	129.8260	=	-1,038.6081	+	1,823.8400	=	785.2319

	<b>Valor a convertir en cero</b>		<b>Fila pivote</b>				<b>Valores fila del elemento a convertir</b>		
X <sub>1</sub>	-37.0403	*	1.0000	=	-37.0403	+	37.0403	=	0.0000
X <sub>2</sub>	-37.0403	*	0.0000	=	0.0000	+	15.4906	=	15.4906

X <sub>3</sub>	-37.0403	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H <sub>1</sub>	-37.0403	*	2.9997	=	-111.1098	+	0.0000	=	-111.1098
H <sub>2</sub>	-37.0403	*	-1.9998	=	74.0732	+	-46.9794	=	27.0938
H <sub>3</sub>	-37.0403	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H <sub>4</sub>	-37.0403	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H <sub>5</sub>	-37.0403	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H <sub>6</sub>	-37.0403	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H <sub>7</sub>	-37.0403	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H <sub>8</sub>	-37.0403	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H <sub>9</sub>	-37.0403	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H <sub>10</sub>	-37.0403	*	0.0000	=	0.0000	+	1.0000	=	1.0000
H <sub>11</sub>	-37.0403	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H <sub>12</sub>	-37.0403	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H <sub>13</sub>	-37.0403	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
Z	-37.0403	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
C	-37.0403	*	129.8260	=	-4,808.7960	+	10,608.3064	=	5,799.5104

	<b>Valor a convertir en cero</b>		<b>Fila pivote</b>		<b>Valores fila del elemento a convertir</b>				
X <sub>1</sub>	1.0000	*	1.0000	=	1.0000	+	-1.0000	=	0.0000
X <sub>2</sub>	1.0000	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
X <sub>3</sub>	1.0000	*	0.0000	=	0.0000	+	-1.0000	=	-1.0000
H <sub>1</sub>	1.0000	*	2.9997	=	2.9997	+	0.0000	=	2.9997
H <sub>2</sub>	1.0000	*	-1.9998	=	-1.9998	+	0.0000	=	-1.9998
H <sub>3</sub>	1.0000	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H <sub>4</sub>	1.0000	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H <sub>5</sub>	1.0000	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H <sub>6</sub>	1.0000	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H <sub>7</sub>	1.0000	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H <sub>8</sub>	1.0000	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H <sub>9</sub>	1.0000	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000

H <sub>10</sub>	1.0000	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H <sub>11</sub>	1.0000	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H <sub>12</sub>	1.0000	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H <sub>13</sub>	1.0000	*	0.0000	=	0.0000	+	1.0000	=	1.0000
Z	1.0000	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
C	1.0000	*	129.8260	=	129.8260	+	-60.0000	=	69.8260

	<b>Valor a convertir en cero</b>		<b>Fila pivote</b>		<b>Valores fila del elemento a convertir</b>				
X <sub>1</sub>	20.0000	*	1.0000	=	20.0000	+	-20.0000	=	0.0000
X <sub>2</sub>	20.0000	*	0.0000	=	0.0000	+	-10.0000	=	-10.0000
X <sub>3</sub>	20.0000	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H <sub>1</sub>	20.0000	*	2.9997	=	59.9940	+	0.0000	=	59.9940
H <sub>2</sub>	20.0000	*	-1.9998	=	-39.9960	+	40.0000	=	0.0040
H <sub>3</sub>	20.0000	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H <sub>4</sub>	20.0000	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H <sub>5</sub>	20.0000	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H <sub>6</sub>	20.0000	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H <sub>7</sub>	20.0000	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H <sub>8</sub>	20.0000	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H <sub>9</sub>	20.0000	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H <sub>10</sub>	20.0000	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H <sub>11</sub>	20.0000	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H <sub>12</sub>	20.0000	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H <sub>13</sub>	20.0000	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
Z	20.0000	*	0.0000	=	0.0000	+	1.0000	=	1.0000
C	20.0000	*	129.8260	=	2,596.5203	+	20,768.0000	=	23,364.5203

### ELEMENTO PIVOTE TERCER TABLERO SIMPLEX

Elemento pivote

129.8260 / 0.0001 =	1298390.0000
302.8580 / 0.6666 =	454.3097
2,779.1839 / 8.8875 =	312.7084
356.0968 / 0.4626 =	769.8185
173.0320 / 0.6665 =	259.5999
3,556.5788 / 15.1979 =	<b>234.0175</b>
2,371.0526 / 10.1319 =	234.0175
1,832.2077 / 7.2315 =	253.3660
785.2319 / 3.0992 =	253.3660
5,799.5104 / 15.4869 =	374.4780
69.8260 / 0.0001 =	
-75.0000 / -1.0000 =	
252.8580 / 0.6666 =	379.3060

### CONVERTIR EN 1 EL ELEMENTO PIVOTE, TERCER TABLERO SIMPLEX

	<b>Inverso EP</b>		<b>Fila EP</b>		<b>Fila pivote</b>
X <sub>1</sub>	0.0658	*	0.0000	=	0.0000
X <sub>2</sub>	0.0658	*	15.1979	=	1.0000
X <sub>3</sub>	0.0658	*	0.0000	=	0.0000
H <sub>1</sub>	0.0658	*	-62.3938	=	-4.1054
H <sub>2</sub>	0.0658	*	-0.6667	=	-0.0439
H <sub>3</sub>	0.0658	*	0.0000	=	0.0000
H <sub>4</sub>	0.0658	*	0.0000	=	0.0000
H <sub>5</sub>	0.0658	*	0.0000	=	0.0000
H <sub>6</sub>	0.0658	*	1.0000	=	0.0658
H <sub>7</sub>	0.0658	*	0.0000	=	0.0000
H <sub>8</sub>	0.0658	*	0.0000	=	0.0000
H <sub>9</sub>	0.0658	*	0.0000	=	0.0000
H <sub>10</sub>	0.0658	*	0.0000	=	0.0000
H <sub>11</sub>	0.0658	*	0.0000	=	0.0000

H <sub>12</sub>	0.0658	*	0.0000	=	0.0000
H <sub>13</sub>	0.0658	*	0.0000	=	0.0000
Z	0.0658	*	0.0000	=	0.0000
C	0.0658	*	3,556.5788	=	234.0175

CONVERTIR EN CERO LOS VALORES DE LA COLUMNA PIVOTE, TERCER TABLERO SIMPLE

	Valor a convertir en cero		Fila pivote		Valores fila del elemento a convertir				
X <sub>1</sub>	-0.0001	*	0.0000	=	0.0000	+	1.0000	=	1.0000
X <sub>2</sub>	-0.0001	*	1.0000	=	-0.0001	+	0.0001	=	0.0000
X <sub>3</sub>	-0.0001	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H <sub>1</sub>	-0.0001	*	-4.1054	=	0.0004	+	2.9997	=	3.0001
H <sub>2</sub>	-0.0001	*	-0.0439	=	0.0000	+	-1.9998	=	-1.9998
H <sub>3</sub>	-0.0001	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H <sub>4</sub>	-0.0001	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H <sub>5</sub>	-0.0001	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H <sub>6</sub>	-0.0001	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H <sub>7</sub>	-0.0001	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H <sub>8</sub>	-0.0001	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H <sub>9</sub>	-0.0001	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H <sub>10</sub>	-0.0001	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H <sub>11</sub>	-0.0001	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H <sub>12</sub>	-0.0001	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H <sub>13</sub>	-0.0001	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
Z	-0.0001	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
C	-0.0001	*	234.0175	=	-0.0234	+	129.8260	=	129.8026

	<b>Valor a convertir en cero</b>		<b>Fila pivote</b>		<b>Valores fila del elemento a convertir</b>				
X <sub>1</sub>	-0.6666	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
X <sub>2</sub>	-0.6666	*	1.0000	=	-0.6666	+	0.6666	=	0.0000
X <sub>3</sub>	-0.6666	*	0.0000	=	0.0000	+	1.0000	=	1.0000
H <sub>1</sub>	-0.6666	*	-4.1054	=	2.7368	+	-0.9999	=	1.7369
H <sub>2</sub>	-0.6666	*	-0.0439	=	0.0292	+	1.3333	=	1.3625
H <sub>3</sub>	-0.6666	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H <sub>4</sub>	-0.6666	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H <sub>5</sub>	-0.6666	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H <sub>6</sub>	-0.6666	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H <sub>7</sub>	-0.6666	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H <sub>8</sub>	-0.6666	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H <sub>9</sub>	-0.6666	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H <sub>10</sub>	-0.6666	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H <sub>11</sub>	-0.6666	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H <sub>12</sub>	-0.6666	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H <sub>13</sub>	-0.6666	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
Z	-0.6666	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
C	-0.6666	*	234.0175	=	-156.0038	+	302.8580	=	146.8541

	<b>Valor a convertir en cero</b>		<b>Fila pivote</b>		<b>Valores fila del elemento a convertir</b>				
X <sub>1</sub>	-8.8875	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
X <sub>2</sub>	-8.8875	*	1.0000	=	-8.8875	+	8.8875	=	0.0000
X <sub>3</sub>	-8.8875	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H <sub>1</sub>	-8.8875	*	-4.1054	=	36.4867	+	-43.1849	=	-6.6982
H <sub>2</sub>	-8.8875	*	-0.0439	=	0.3899	+	4.2493	=	4.6392
H <sub>3</sub>	-8.8875	*	0.0000	=	0.0000	+	1.0000	=	1.0000
H <sub>4</sub>	-8.8875	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000

H <sub>5</sub>	-8.8875	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H <sub>6</sub>	-8.8875	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H <sub>7</sub>	-8.8875	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H <sub>8</sub>	-8.8875	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H <sub>9</sub>	-8.8875	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H <sub>10</sub>	-8.8875	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H <sub>11</sub>	-8.8875	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H <sub>12</sub>	-8.8875	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H <sub>13</sub>	-8.8875	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
Z	-8.8875	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
C	-8.8875	*	234.0175	=	-2,079.8210	+	2,779.1839	=	699.3629

	<b>Valor a convertir en cero</b>		<b>Fila pivote</b>				<b>Valores fila del elemento a convertir</b>		
X <sub>1</sub>	-0.4626	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
X <sub>2</sub>	-0.4626	*	1.0000	=	-0.4626	+	0.4626	=	0.0000
X <sub>3</sub>	-0.4626	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H <sub>1</sub>	-0.4626	*	-4.1054	=	1.8991	+	-2.8279	=	-0.9289
H <sub>2</sub>	-0.4626	*	-0.0439	=	0.0203	+	0.1343	=	0.1546
H <sub>3</sub>	-0.4626	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H <sub>4</sub>	-0.4626	*	0.0000	=	0.0000	+	1.0000	=	1.0000
H <sub>5</sub>	-0.4626	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H <sub>6</sub>	-0.4626	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H <sub>7</sub>	-0.4626	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H <sub>8</sub>	-0.4626	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H <sub>9</sub>	-0.4626	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H <sub>10</sub>	-0.4626	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H <sub>11</sub>	-0.4626	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H <sub>12</sub>	-0.4626	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H <sub>13</sub>	-0.4626	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
Z	-0.4626	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000

$$C \quad | \quad -0.4626 \quad * \quad 234.0175 \quad = \quad -108.2500 \quad + \quad 356.0968 \quad = \quad 247.8468$$

	<b>Valor a convertir en cero</b>		<b>Fila pivote</b>		<b>Valores fila del elemento a convertir</b>		
X <sub>1</sub>	-0.6665	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000 = 0.0000
X <sub>2</sub>	-0.6665	*	1.0000	=	-0.6665	+	0.6665 = 0.0000
X <sub>3</sub>	-0.6665	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000 = 0.0000
H <sub>1</sub>	-0.6665	*	-4.1054	=	2.7364	+	-3.9996 = -1.2632
H <sub>2</sub>	-0.6665	*	-0.0439	=	0.0292	+	1.3331 = 1.3623
H <sub>3</sub>	-0.6665	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000 = 0.0000
H <sub>4</sub>	-0.6665	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000 = 0.0000
H <sub>5</sub>	-0.6665	*	0.0000	=	0.0000	+	1.0000 = 1.0000
H <sub>6</sub>	-0.6665	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000 = 0.0000
H <sub>7</sub>	-0.6665	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000 = 0.0000
H <sub>8</sub>	-0.6665	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000 = 0.0000
H <sub>9</sub>	-0.6665	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000 = 0.0000
H <sub>10</sub>	-0.6665	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000 = 0.0000
H <sub>11</sub>	-0.6665	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000 = 0.0000
H <sub>12</sub>	-0.6665	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000 = 0.0000
H <sub>13</sub>	-0.6665	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000 = 0.0000
Z	-0.6665	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000 = 0.0000
C	-0.6665	*	234.0175	=	-155.9804	+	173.0320 = 17.0515

	<b>Valor a convertir en cero</b>		<b>Fila pivote</b>		<b>Valores fila del elemento a convertir</b>		
X <sub>1</sub>	-10.1319	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000 = 0.0000
X <sub>2</sub>	-10.1319	*	1.0000	=	-10.1319	+	10.1319 = 0.0000
X <sub>3</sub>	-10.1319	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000 = 0.0000
H <sub>1</sub>	-10.1319	*	-4.1054	=	41.5958	+	-41.5958 = 0.0000
H <sub>2</sub>	-10.1319	*	-0.0439	=	0.4444	+	0.2639 = 0.7083

H3	-10.1319	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H4	-10.1319	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H5	-10.1319	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H6	-10.1319	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H7	-10.1319	*	0.0000	=	0.0000	+	1.0000	=	1.0000
H8	-10.1319	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H9	-10.1319	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H10	-10.1319	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H11	-10.1319	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H12	-10.1319	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H13	-10.1319	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
Z	-10.1319	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
C	-10.1319	*	234.0175	=	-2,371.0526	+	2,371.0526	=	0.0000

	<b>Valor a convertir en cero</b>		<b>Fila pivote</b>		<b>Valores fila del elemento a convertir</b>				
X1	-7.2315	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
X2	-7.2315	*	1.0000	=	-7.2315	+	7.2315	=	0.0000
X3	-7.2315	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H1	-7.2315	*	-4.1054	=	29.6882	+	-55.9944	=	-26.3062
H2	-7.2315	*	-0.0439	=	0.3172	+	14.4629	=	14.7801
H3	-7.2315	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H4	-7.2315	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H5	-7.2315	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H6	-7.2315	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H7	-7.2315	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H8	-7.2315	*	0.0000	=	0.0000	+	1.0000	=	1.0000
H9	-7.2315	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H10	-7.2315	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H11	-7.2315	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H12	-7.2315	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000

H <sub>13</sub>	-7.2315	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
Z	-7.2315	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
C	-7.2315	*	234.0175	=	-1,692.2896	+	1,832.2077	=	139.9181

	<b>Valor a convertir en cero</b>		<b>Fila pivote</b>		<b>Valores fila del elemento a convertir</b>				
X <sub>1</sub>	-3.0992	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
X <sub>2</sub>	-3.0992	*	1.0000	=	-3.0992	+	3.0992	=	0.0000
X <sub>3</sub>	-3.0992	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H <sub>1</sub>	-3.0992	*	-4.1054	=	12.7235	+	-23.9976	=	-11.2741
H <sub>2</sub>	-3.0992	*	-0.0439	=	0.1359	+	6.1984	=	6.3343
H <sub>3</sub>	-3.0992	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H <sub>4</sub>	-3.0992	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H <sub>5</sub>	-3.0992	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H <sub>6</sub>	-3.0992	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H <sub>7</sub>	-3.0992	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H <sub>8</sub>	-3.0992	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H <sub>9</sub>	-3.0992	*	0.0000	=	0.0000	+	1.0000	=	1.0000
H <sub>10</sub>	-3.0992	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H <sub>11</sub>	-3.0992	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H <sub>12</sub>	-3.0992	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H <sub>13</sub>	-3.0992	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
Z	-3.0992	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
C	-3.0992	*	234.0175	=	-725.2670	+	785.2319	=	59.9649

	<b>Valor a convertir en cero</b>		<b>Fila pivote</b>		<b>Valores fila del elemento a convertir</b>		
X <sub>1</sub>	-15.4869 *		0.0000 =	0.0000 +	0.0000	=	0.0000
X <sub>2</sub>	-15.4869 *		1.0000 =	-15.4869 +	15.4869	=	0.0000
X <sub>3</sub>	-15.4869 *		0.0000 =	0.0000 +	0.0000	=	0.0000
H <sub>1</sub>	-15.4869 *		-4.1054 =	63.5802 +	-111.1098	=	-47.5296
H <sub>2</sub>	-15.4869 *		-0.0439 =	0.6793 +	27.0938	=	27.7732
H <sub>3</sub>	-15.4869 *		0.0000 =	0.0000 +	0.0000	=	0.0000
H <sub>4</sub>	-15.4869 *		0.0000 =	0.0000 +	0.0000	=	0.0000
H <sub>5</sub>	-15.4869 *		0.0000 =	0.0000 +	0.0000	=	0.0000
H <sub>6</sub>	-15.4869 *		0.0000 =	0.0000 +	0.0000	=	0.0000
H <sub>7</sub>	-15.4869 *		0.0000 =	0.0000 +	0.0000	=	0.0000
H <sub>8</sub>	-15.4869 *		0.0000 =	0.0000 +	0.0000	=	0.0000
H <sub>9</sub>	-15.4869 *		0.0000 =	0.0000 +	0.0000	=	0.0000
H <sub>10</sub>	-15.4869 *		0.0000 =	0.0000 +	1.0000	=	1.0000
H <sub>11</sub>	-15.4869 *		0.0000 =	0.0000 +	0.0000	=	0.0000
H <sub>12</sub>	-15.4869 *		0.0000 =	0.0000 +	0.0000	=	0.0000
H <sub>13</sub>	-15.4869 *		0.0000 =	0.0000 +	0.0000	=	0.0000
Z	-15.4869 *		0.0000 =	0.0000 +	0.0000	=	0.0000
C	-15.4869 *		234.0175 =	-3,624.2092 +	5,799.5104	=	2,175.3012

	<b>Valor a convertir en cero</b>		<b>Fila pivote</b>		<b>Valores fila del elemento a convertir</b>		
X <sub>1</sub>	-0.0001 *		0.0000 =	0.0000 +	0.0000	=	0.0000
X <sub>2</sub>	-0.0001 *		1.0000 =	-0.0001 +	0.0001	=	0.0000
X <sub>3</sub>	-0.0001 *		0.0000 =	0.0000 +	0.0000	=	0.0000
H <sub>1</sub>	-0.0001 *		-4.1054 =	0.0004 +	2.9997	=	3.0001
H <sub>2</sub>	-0.0001 *		-0.0439 =	0.0000 +	-1.9998	=	-1.9998
H <sub>3</sub>	-0.0001 *		0.0000 =	0.0000 +	0.0000	=	0.0000
H <sub>4</sub>	-0.0001 *		0.0000 =	0.0000 +	0.0000	=	0.0000

H5	-0.0001	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H6	-0.0001	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H7	-0.0001	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H8	-0.0001	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H9	-0.0001	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H10	-0.0001	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H11	-0.0001	*	0.0000	=	0.0000	+	1.0000	=	1.0000
H12	-0.0001	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H13	-0.0001	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
Z	-0.0001	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
C	-0.0001	*	234.0175	=	-0.0234	+	69.8260	=	69.8026

	<b>Valor a convertir en cero</b>		<b>Fila pivote</b>		<b>Valores fila del elemento a convertir</b>				
X1	1.0000	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
X2	1.0000	*	1.0000	=	1.0000	+	-1.0000	=	0.0000
X3	1.0000	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H1	1.0000	*	-4.1054	=	-4.1054	+	0.0000	=	-4.1054
H2	1.0000	*	-0.0439	=	-0.0439	+	0.0000	=	-0.0439
H3	1.0000	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H4	1.0000	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H5	1.0000	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H6	1.0000	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H7	1.0000	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H8	1.0000	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H9	1.0000	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H10	1.0000	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H11	1.0000	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H12	1.0000	*	0.0000	=	0.0000	+	1.0000	=	1.0000
H13	1.0000	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
Z	1.0000	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000

$$C \mid 1.0000 * 234.0175 = 234.0175 + -75.0000 = 159.0175$$

	<b>Valor a convertir en cero</b>		<b>Fila pivote</b>			<b>Valores fila del elemento a convertir</b>			
X <sub>1</sub>	-0.6666	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
X <sub>2</sub>	-0.6666	*	1.0000	=	-0.6666	+	0.6666	=	0.0000
X <sub>3</sub>	-0.6666	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H <sub>1</sub>	-0.6666	*	-4.1054	=	2.7368	+	-0.9999	=	1.7369
H <sub>2</sub>	-0.6666	*	-0.0439	=	0.0292	+	1.3333	=	1.3625
H <sub>3</sub>	-0.6666	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H <sub>4</sub>	-0.6666	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H <sub>5</sub>	-0.6666	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H <sub>6</sub>	-0.6666	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H <sub>7</sub>	-0.6666	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H <sub>8</sub>	-0.6666	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H <sub>9</sub>	-0.6666	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H <sub>10</sub>	-0.6666	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H <sub>11</sub>	-0.6666	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H <sub>12</sub>	-0.6666	*	0.0000	=	0.0000	+	1.0000	=	1.0000
H <sub>13</sub>	-0.6666	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
Z	-0.6666	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
C	-0.6666	*	234.0175	=	-156.0038	+	252.8580	=	96.8541

	<b>Valor a convertir en cero</b>	*	<b>Fila pivote</b>	=		+	<b>Valores fila del elemento a convertir</b>	=	
X <sub>1</sub>	9.9980	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
X <sub>2</sub>	9.9980	*	1.0000	=	9.9980	+	-9.9980	=	0.0000
X <sub>3</sub>	9.9980	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H <sub>1</sub>	9.9980	*	-4.1054	=	-41.0459	+	59.9940	=	18.9481
H <sub>2</sub>	9.9980	*	-0.0439	=	-0.4386	+	1.3333	=	0.8947
H <sub>3</sub>	9.9980	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H <sub>4</sub>	9.9980	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H <sub>5</sub>	9.9980	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H <sub>6</sub>	9.9980	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H <sub>7</sub>	9.9980	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H <sub>8</sub>	9.9980	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H <sub>9</sub>	9.9980	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H <sub>10</sub>	9.9980	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H <sub>11</sub>	9.9980	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H <sub>12</sub>	9.9980	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
H <sub>13</sub>	9.9980	*	0.0000	=	0.0000	+	1.0000	=	1.0000
Z	9.9980	*	0.0000	=	0.0000	+	0.0000	=	0.0000
C	9.9980	*	234.0175	=	2,339.7067	+	23,364.5203	=	25,704.2271

## ANEXO 4

### SOLUCIÓN DEL MÉTODO SIMPLEX A TRAVÉS DEL SOLVER

Utilizando la información planteada, se presentan los resultados del método simplex a través de la aplicación Solver de Microsoft Excel. Siguiendo los pasos descritos en el primer capítulo del presente análisis, se determinó lo siguiente:

#### Celdas de salida

	A	B	C	D	E	F	G
1			$X_1$	$X_2$	$X_3$		Utilidad máxima
2	Unidades a producir		-	-	-	Q	-
3	Utilidad	Q	40.00	Q	50.00	Q	60.00

En las celdas de salida, las cuales corresponden a la fila dos del documento de Excel en este caso, pertenecen a las unidades a producir, que es lo que se desea saber según el problema presentado. Estas unidades resultado dependerán tanto de la utilidad por tipo de calzado (fila tres) y de las restricciones impuestas en el problema.

#### Celdas de restricciones

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
4									
5	<b>Restricciones</b>		$X_1$	$X_2$	$X_3$		Utilizado	Disponible	Descripción
6	<b>Materia prima</b>								
7	Piel		0.6667	0.6667	1.0000	=	-	389.41	Yardas
8	Sintético (forro)		0.5000	1.0000	1.5000	=	-	519.20	Yardas
9	Pegamento		26.6667	33.4295	36.8109	=	-	17,389.69	Onza Liquid
10	Hilo		1.8182	2.2136	2.6264	=	-	1,387.57	Yardas
11	Suela		2.0000	2.0000	2.0000	=	-	1,038.40	Unidades
12									
13	<b>Mano de obra</b>								
14	Corte		41.4000	56.4000	61.8000	=	-	27,648	Minutos
15	Pegado		27.6000	37.6000	41.2000	=	-	18,432	Minutos
16	Cosido		30.1000	30.1000	34.3000	=	-	16,128	Minutos
17	Acabado		12.9000	12.9000	14.7000	=	-	6,912	Minutos
18									
19	<b>Presupuestario</b>								
20	Presupuesto		60.5342	62.4691	70.4691	=	-	35,000.00	Quetzales
21									
22	<b>Producción mínima</b>								
23	$X^1$		1	0	0	=	-	60	Unidades
24	$X^2$		0	1	0	=	-	75	Unidades
25	$X^3$		0	0	1	=	-	50	Unidades

Las celdas anteriores, se puede notar que los estándares de producción condicionan la disponibilidad de los materiales y su utilización, que en la medida que incrementen las unidades producidas por tipo de calzado, así será el incremento de los materiales utilizados durante el proceso productivo. Posteriormente, dentro del proceso de solución del problema, se deben incluir los parámetros del Solver que corresponden a lo que se desea llegar con la aplicación de la herramienta, indicado principalmente lo siguiente:

Parámetros de Solver

Establecer objetivo:

Para:  Máx.  Mín  Valor de:

Cambiando las celdas de variables:

Sujeto a las restricciones:

Convertir variables sin restricciones en no negativas

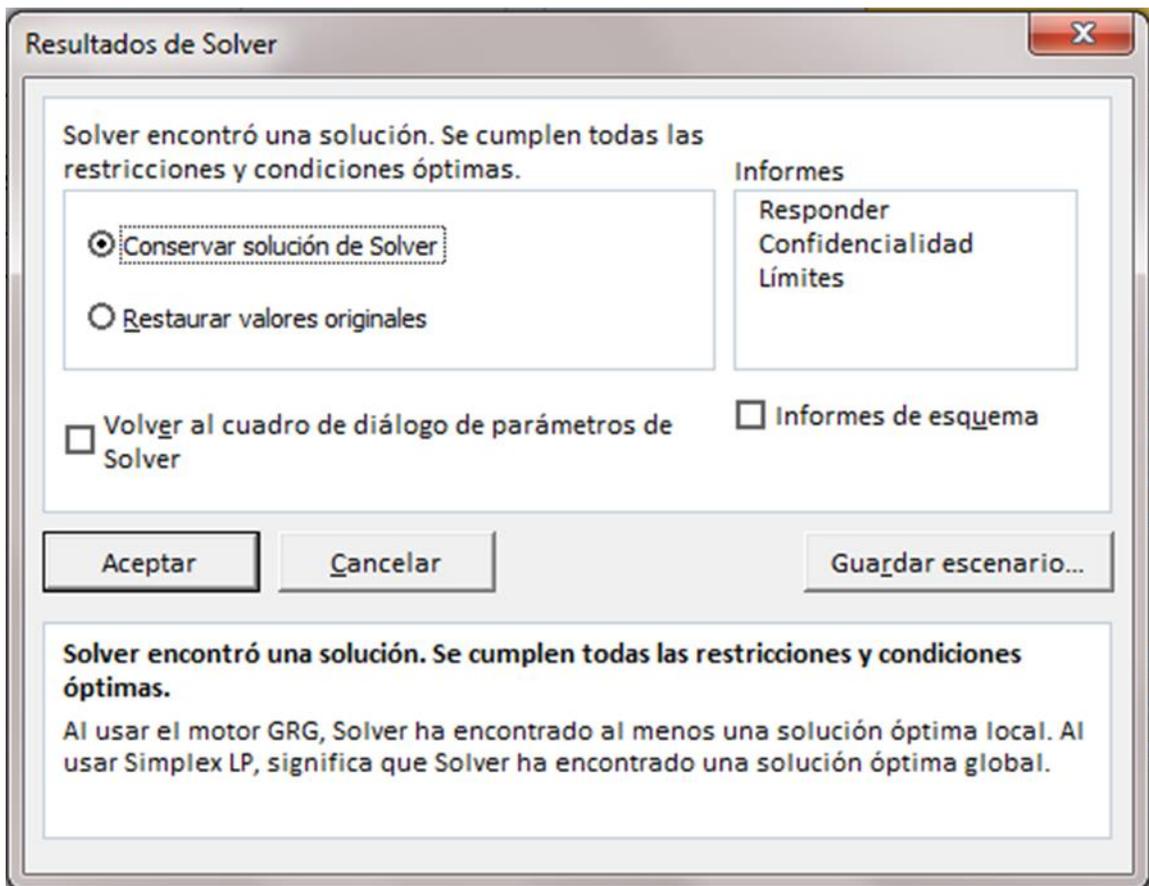
Método de resolución:

Método de resolución

Seleccione el motor GRG Nonlinear para problemas de Solver no lineales suavizados. Seleccione el motor LP Simplex para problemas de Solver lineales, y seleccione el motor Evolutionary para problemas de Solver no suavizados.

- a. Establecer la celda objetivo (maximización de la utilidad).
- b. Establecer que es una maximización.
- c. Indicar el rango de las variables de salida.
- d. Indicar el rango de las restricciones según su signo.
- e. Indicar que se utilizará el método simplex de programación lineal.
- f. Y presionar el botón de resolver.

Al resolver el problema ha salido una ventana emergente que indica los aspectos generales de la solución al problema, tal como se muestra a continuación. Se ha obtenido una solución óptima a través del uso de la herramienta:



En tanto, que los resultados finales de la solución por este método son los siguientes:

	A	B	C	D	E	F	G
1			$X_1$	$X_2$	$X_3$		Utilidad máxima
2	Unidades a producir		130	234	147	Q	<b>25,704.23</b>
3	Utilidad	Q	40.00	Q	50.00	Q	60.00

Según los resultados, se determinó que la producción de calzado óptima para maximizar la utilidad es de 130, 234 y 147 para  $X_1$ ,  $X_2$  y  $X_3$  respectivamente, dando una utilidad máxima de Q 25,704.23. La formulación de la hoja electrónica, se determinó que las holguras obtenidas en el proceso de producción son las siguientes:

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
4										
5	<b>Restricciones</b>		$X_1$	$X_2$	$X_3$		Utilizado	Disponibles	Descripción	Holgura
6	<b>Materia prima</b>									
7	Piel		0.6667	0.6667	1.0000 =		389.41	389.41	Yardas	-
8	Sintético (forro)		0.5000	1.0000	1.5000 =		519.20	519.20	Yardas	-
9	Pegamento		26.6667	33.4295	36.8109 =		16,690.33	17,389.69	Onza Liquid	699.36
10	Hilo		1.8182	2.2136	2.6264 =		1,139.74	1,387.57	Yardas	247.83
11	Suela		2.0000	2.0000	2.0000 =		1,021.35	1,038.40	Unidades	17.05
12										
13	<b>Mano de obra</b>									
14	Corte		41.4000	56.4000	61.8000 =		27,648	27,648	Minutos	-
15	Pegado		27.6000	37.6000	41.2000 =		18,432	18,432	Minutos	-
16	Cosido		30.1000	30.1000	34.3000 =		15,988	16,128	Minutos	140
17	Acabado		12.9000	12.9000	14.7000 =		6,852	6,912	Minutos	60
18										
19	<b>Presupuestario</b>									
20	Presupuesto		60.5342	62.4691	70.4691 =		32,825.02	35,000.00	Quetzales	2,174.98
21										
22	<b>Producción mínima</b>									
23	$X^1$		1	0	0 =		130	60	Unidades	70
24	$X^2$		0	1	0 =		234	75	Unidades	159
25	$X^3$		0	0	1 =		147	50	Unidades	97
26										

De lo cual, se puede indicar que existe un sobrante de inventario de pegamento, hilo y suela correspondiente a materias primas; exceso de tiempo asignado en las secciones de cosido y acabado; y un presupuesto excedente. Se determinó también que la empresa está en la capacidad de producir por arriba de la demanda mínima estimada para el período.