**Universidad Nacional Mayor de San Marcos**
**Universidad del Perú. Decana de América**
Facultad de Ciencias Matemáticas
Escuela Profesional de Investigación Operativa

# Secuencia de procesos y asignación de personal en una empresa productora de estuches

**TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL**

Para optar el Título Profesional de Licenciada en Investigación Operativa

**AUTOR**

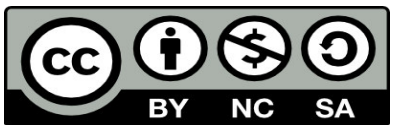
Jessica Paola ZAMORA AGUIRRE

**ASESOR**

Gladys Giovanna MELGAREJO ESTREMADOYRO

Lima, Perú

2021



Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual - Sin restricciones adicionales

https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

Usted puede distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir del documento original de modo no comercial, siempre y cuando se dé crédito al autor del documento y se licencien las nuevas creaciones bajo las mismas condiciones. No se permite aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros a hacer cualquier cosa que permita esta licencia.

**Referencia bibliográfica**

Zamora, J. (2021). *Secuencia de procesos y asignación de personal en una empresa productora de estuches* [Trabajo de Suficiencia Profesional de pregrado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ciencias Matemáticas, Escuela Profesional de Investigación Operativa]. Repositorio institucional Cybertesis UNMSM.

## Metadatos complementarios

| | |
|---|---|
| **Datos de autor** | |
| Nombres y apellidos | Jessica Paola Zamora Aguirre |
| Tipo de documento de identidad | DNI |
| Número de documento de identidad | 74733218 |
| URL de ORCID | |
| **Datos de asesor** | |
| Nombres y apellidos | Gladys Giovanna Melgarejo Estremadoyro |
| Tipo de documento de identidad | DNI |
| Número de documento de identidad | 25673529 |
| URL de ORCID | https://orcid.org/0000-0003-2062-2707 |
| **Datos del jurado** | |
| **Presidente del jurado** | |
| Nombres y apellidos | Inés Gambini López Vda. de Chuquimuni |
| Tipo de documento | DNI |
| Número de documento de identidad | 08263251 |
| **Miembro del jurado 1** | |
| Nombres y apellidos | Luis Antonio Durand Romero |
| Tipo de documento | DNI |
| Número de documento de identidad | 09516593 |
| **Datos de investigación** | |
| Línea de investigación | A.3.3.1. Optimización Matemática |

| | |
|---|---|
| Grupo de investigación | No aplica. |
| Agencia de financiamiento | Sin financiamiento. |
| Ubicación geográfica de la investigación | Universidad Nacional Mayor de San Marcos<br>País: Perú<br>Departamento: Lima<br>Provincia: Lima<br>Distrito: Lima<br>Coordenadas geográficas<br>Latitud: -12.058333<br>Longitud: -77.083333 |
| Año o rango de años en que se realizó la investigación | Octubre 2021 |
| URL de disciplinas OCDE | Matemáticas aplicadas<br>https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#1.01.02 |

# ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL EN LA MODALIDAD VIRTUAL PARA OBTENCIÓN DEL TÍTULO PROFESIONAL DE LICENCIADO(A) EN INVESTIGACIÓN OPERATIVA (PROGRAMA DE TITULACIÓN PROFESIONAL 2021-I)

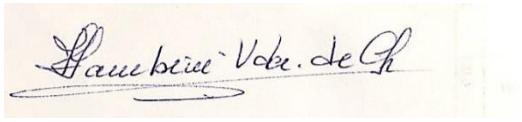
En Lima, siendo las 10:40 horas del domingo 03 de octubre del 2021, se reunieron los docentes designados como Miembros del Jurado del Trabajo de Suficiencia Profesional (PROGRAMA DE TITULACIÓN PROFESIONAL 2021-I): Mg. Inés Gambini López Vda. de Chuquimuni (PRESIDENTE), Mg. Luis Antonio Durand Romero (MIEMBRO) y la Lic. Gladys Giovanna Melgarejo Estremadoyro (MIEMBRO ASESOR), para la sustentación del Trabajo de Suficiencia Profesional titulado: "**SECUENCIA DE PROCESOS Y ASIGNACIÓN DE PERSONAL EN UNA EMPRESA PRODUCTORA DE ESTUCHES**", presentado por la señorita **Bachiller Jessica Paola Zamora Aguirre**, para optar el Título Profesional de Licenciada en Investigación Operativa.

Luego de la exposición del trabajo de suficiencia, la Presidente invitó a la expositora a dar respuesta a las preguntas formuladas.

Realizada la evaluación correspondiente por los miembros del Jurado Evaluador, la expositora mereció la aprobación **bueno**, con un calificativo promedio de **16 (dieciséis).**

A continuación, los miembros del Jurado dan manifiesto que la participante **Bachiller Jessica Paola Zamora Aguirre** en vista de haber aprobado la sustentación del Trabajo de Suficiencia Profesional, será propuesta para que se le otorgue el Título Profesional de Licenciada en Investigación Operativa.

Siendo las 11:25 horas se levantó la sesión firmando para constancia la presente Acta.



Mg. Inés Gambini López Vda. de Chuquimuni
**PRESIDENTE**



Mg. Luis Antonio Durand Romero
**MIEMBRO**



Lic. Gladys Giovanna Melgarejo Estremadoyro
**MIEMBRO ASESOR**

**UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS**
Universidad del Perú. Decana de América
**FACULTAD DE CIENCIAS MATEMÁTICAS**
**ESCUELA PROFESIONAL DE INVESTIGACIÓN OPERATIVA**

## INFORME DE EVALUACIÓN DE ORIGINALIDAD

La Directora de la Escuela Profesional de Investigación Operativa, Mg. Carmela Catalina Velásquez Pino, informa lo siguiente:

1. Operador del programa informático de similitudes: Mg. Paulo César Olivares Taipe

Documento evaluado: SECUENCIA DE PROCESOS Y ASIGNACIÓN DE PERSONAL EN UNA EMPRESA PRODUCTORA DE ESTUCHES

2. Autor de la tesis: ZAMORA AGUIRRE JESSICA PAOLA
3. Fecha de recepción de la tesis: 31 de octubre 2021
4. Fecha de aplicación del programa informático de similitudes: 01 de noviembre 2021
   - Software utilizado: Turnitin
5. Configuración del programa detector de similitudes:
   - Excluye textos entrecomillados
   - Excluye bibliografía
   - Excluye cadenas menores a 40 palabras
6. Porcentaje de similitudes según programa detector de similitudes: 7%
7. Fuentes originales de las similitudes encontradas:
   Fuentes de internet:7%
   Publicaciones: 0%
   Trabajos de estudiantes:3%
8. Calificación de originalidad:
   - El documento mencionado cumple criterios de originalidad, sin observaciones.

Lima, 8 noviembre del 2021

UNMSM

Firmado digitalmente por VELASQUEZ PINO Carmela Catalina FAU 20148092282 soft
Motivo: Doy V° B°
Fecha: 07.11.2021 14:32:42 -05:00

Mg. Carmela Catalina Velásquez Pino
Directora

# FICHA CATALOGRÁFICA

**ZAMORA AGUIRRE, JESSICA PAOLA**

SECUENCIA DE PROCESOS Y ASIGNACIÓN DE PERSONAL EN UNA EMPRESA PRODUCTORA DE ESTUCHES

Lima 2021,

Vi, 7 p., 52 p., 29.7 cm (UNMSM, Licenciada, Investigación Operativa, 2021)

Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Facultad de Ciencias Matemáticas

Escuela Profesional de Investigación Operativa

UNMSM / FCM

*Dedico este documento a mis padres, quienes siempre me apoyaron y aconsejaron.*

# Resumen

## SECUENCIA DE PROCESOS Y ASIGNACIÓN DE PERSONAL EN UNA EMPRESA PRODUCTORA DE ESTUCHES

Jessica Paola Zamora Aguirre
Octubre 2021

**Asesora** : Lic. Gladys Giovanna Melgarejo Estremadoyro
**Título obtenido** : Licenciada en Investigación Operativa

---

El presente trabajo de investigación analizó el problema de la mala secuencia de procesos en la producción de estuches, originado por una inadecuada asignación de personal al trabajo a realizar, siendo estos partes fundamentales en la gestión y planificación de la empresa, y su programación influye en los tiempos totales de producción de los pedidos.

La metodología empleada fue de acuerdo al caso, se recolectó información en base a entrevistas y observación al dueño y personal de la empresa. Se analizaron los datos y la solución se desarrolló en dos etapas, en la primera etapa se modeló la asignación de personal como un problema de programación entera y en la segunda etapa se modeló la secuenciación de procesos como un problema de programación entera mixta. Luego ambos modelos se resolvieron con el programa Lingo para obtener la solución óptima del problema. Teniendo como resultado una reducción de más de siete minutos en la elaboración de cada estuche o caja, que en cantidades gigantescas es un tiempo notable de producción. Finalmente se propuso al dueño la solución para su evaluación.

**Palabras clave:** Programación Entera, Programación Entera Mixta, Secuenciación, Asignación, Procesos.

# Abstract


**SEQUENCING OF PROCESSES AND ASSIGNMENT OF PERSONNEL IN A CASE PRODUCTION COMPANY**

Jessica Paola Zamora Aguirre

October 2021

**Adviser** : Lic. Gladys Giovanna Melgarejo Estremadoyro

**Degree obtained** : Bachelor of Operations Research

---

The present research work analyses the problem of poor process sequencing in the production of cartons boxes, caused by an inadequate allocation of personnel to the work to be done, these are fundamental part of the management and planning of the company, and their programming influences the total times of the orders.

The methodology used was on a case-by-case basis, gathering information based on interviews and observation of the company's personnel. The data were analyzed and the solution was developed in two stages, in the first stage, the assignment of personnel is modeled as an integer-programming problem and in the second stage the sequencing of processes is modeled as a mixed integer programming problem. Then both models were solved with the Lingo program to get the optimal solution of the problem. This results in a reduction of more than seven minutes in the production of each case or box, which in huge quantities is a remarkable production time. Finally, the owner was proposed the solution for its evaluation.



**Keywords:** Integer programming, Mixed Integer programming, sequencing, assignment, Processes.

# ÍNDICE DE CONTENIDO

**Resumen** ..... **ii**
**Abstract** ..... **iii**
**Introducción** ..... **1**
**CAPITULO I - ASPECTOS GENERALES DEL TEMA** ..... **3**
1.1. Antecedentes de la empresa ..... 3
1.2. Descripción de la organización ..... 4
1.3. Contexto socioeconómico ..... 5
1.4. Descripción general de experiencia ..... 6
1.5. Explicación del cargo, funciones ejecutadas ..... 6
1.6. Propósito del puesto ..... 7
1.7. Producto o proceso que será objeto del informe ..... 8
1.8. Resultados concretos ..... 11
**CAPÍTULO II - FUNDAMENTACIÓN** ..... **12**
2.1. Teorías asociadas al tema ..... 12
2.1.1. Programación Entera Pura ..... 12
2.1.2. Programación Entera Mixta ..... 12
2.2 Acciones, Metodología y Procedimiento ..... 13
2.2.1. Marco Teórico ..... 14
2.2.1.1. Antecedentes de la investigación ..... 14
2.2.1.2. Bases Teóricas ..... 18
2.2.1.2.1. Programación Lineal ..... 18
2.2.1.2.2. Teoría de la Secuenciación de tareas ..... 18
2.2.1.2.3. Teoría de la Asignación de recursos ..... 21
**CAPÍTULO III - APORTES Y DESARROLLO DE LA EXPERIENCIA** ..... **23**
3.1. Desarrollo de la experiencia ..... 23
3.1.1. Determinación de los procesos de producción ..... 23
3.1.2. Medición de los tiempos de producción ..... 26
3.1.3. Construcción del modelo de asignación ..... 27
3.1.4. Construcción del modelo de secuenciación ..... 31
3.1.5. Resultados ..... 34
3.1.5.1. Asignación del personal al proceso a realizar ..... 35
3.1.5.2. Secuenciación de Procesos ..... 35
**Conclusiones** ..... **37**
**Recomendaciones** ..... **38**
**Bibliografía** ..... **39**
**Anexos** ..... **41**

# ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Estructura Jerárquica.....6

Figura 2: Procedimiento de Producción General .....10

Figura 3.1: Diagrama de Gantt, orientado a máquinas .....19

Figura 3.2: Diagrama de Gantt, orientado a trabajos.....20

Figura 4: Esquema de Precedencia de Procesos según Tipo de Producto 31

Figura 5: Solución de la secuenciación de Procesos según Tipo de Producto .....36

Figura 6: Modelo de Programación en LINGO para la Asignación del Personal a Proceso .....43

Figura 7: Resultado en LINGO para la Asignación del Personal a Proceso.....44

Figura 8: Resultado en LINGO para la Asignación del Personal a Proceso – Continuación.....45

Figura 9: Resultado en LINGO para la Asignación del Personal a Proceso – Continuación.....46

Figura 10: Modelo de Programación en LINGO para la Secuenciación de Procesos.....47

Figura 11: Resultado en LINGO para la Secuenciación de Procesos .....48

Figura 12: Modelo de Programación en LINGO para la Secuenciación de Procesos.....49

Figura 13: Resultado en LINGO para la Secuenciación de Procesos .....50

# ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Cuadro de Procedimientos para resolver el problema .....13

Tabla 2: Cuadro de Procesos .....23

Tabla 3: Cuadro de precedencia para cajas .....24

Tabla 4: Cuadro de precedencia para estuches .....25

Tabla 5: Cuadro de Tiempos Promedios de Proceso por Personal .....27

Tabla 6: Cuadro Balanceado de Tiempos de Proceso por Personal .....27

Tabla 7: Cuadro Balanceado de Tiempos de Proceso por Personal convertida en segundos .....28

Tabla 8: Resultado de la Asignación del Personal al Proceso que realizará .....30

Tabla 9: Tiempos de Procesamiento medido en segundos .....31

Tabla 10: Tiempo desde el segundo cero hasta el Inicio del Proceso .....34

Tabla 11: Ficha de Duración de los Procesos .....41

Tabla 12: Información para el Llenado del Personal .....41

Tabla 13: Información para el Llenado del Producto .....42

Tabla 14: Información para el Llenado del Proceso .....42

Tabla 15: Producción de Almohadillas .....51

# INTRODUCCIÓN

Hoy en día una de las mayores prioridades de las empresas es trabajar a un mismo ritmo en niveles estratégico, táctico y operativo, con el fin de alcanzar los estándares de calidad y productividad para poder satisfacer a los clientes brindándoles un excelente bien o servicio.

En una sociedad cada vez más globalizada como la nuestra aumenta el número de pequeñas, medianas y grandes empresas que empiezan a abrir joyerías en diversas partes de la capital. Estuchería Zamora participa en el mercado local como proveedor de estas empresas, lo cual los obliga a tener una mejora continua y así lograr la preferencia de sus clientes. Pero la demanda de productos en temporada alta genera cuellos de botella en la producción de cajas y estuches, por lo tanto, los pedidos se entregan fuera de tiempo.

El valor de la secuenciación de procesos como la asignación de personal, en la gestión y planificación de la producción es elemental para toda empresa dedicada a este rubro. Entonces la secuenciación en la producción debe ser eficiente y precisa, lo que implica encontrar la secuencia de la ubicación de ***m*** trabajos, en cada uno de los recursos que optimicen una función objetivo. Así como lo señala el trabajo de Pablo et al. (Pablo Hernández, 2013) el cuál menciona que para el caso de una empresa productiva, el nivel operacional debe planificar la operación, como lo es la secuenciación detallada de producción en las distintas líneas productivas.

El propósito de este trabajo de suficiencia profesional es dar una solución óptima al problema de secuenciación de procesos y a su vez la asignación de personal que tiene la empresa, para mejorar el sistema de producción a fin de reducir el tiempo total de producción.

Para ello, se presenta un modelo de Programación Lineal Entera, dividida en dos etapas, en la primera se hizo un modelo de Programación Entera para la asignación de los empleados a los procesos a realizar. Luego en la segunda etapa se desarrolló la secuencia de los procesos operativos. Finalmente, se corrió ambos modelos en el programa Lingo para obtener una solución óptima del problema.

Como resultado, la solución óptima obtenida por el programa Lingo se presentará al dueño de la empresa y de ser aceptada, se implementará los cambios que crea conveniente para el sistema.

La organización del trabajo de suficiencia profesional se presenta a continuación:

En el capítulo 1, se explican los aspectos generales del tema, los antecedentes de la empresa, la formulación del problema, los objetivos del estudio, así como los resultados concretos alcanzados.

En el capítulo 2, se presenta la fundamentación del caso de estudio, en donde se presenta las teorías asociadas al tema, las acciones, metodología y procedimientos, asimismo, los antecedentes que tiene el trabajo de suficiencia, junto con las bases teóricas.

En el capítulo 3, se muestra la aplicación y resultados del trabajo de suficiencia, determinando el proceso de producción para poder minimizar sus tiempos totales. Se modela el problema general asignando el personal y con el resultado se modela la secuenciación de los procesos, haciendo una comparación con el trabajo actual de la empresa.

Finalmente se presentan las conclusiones y recomendaciones.

# CAPÍTULO I – ASPECTOS GENERALES DEL TEMA

## 1.1. Antecedentes de la empresa

Estuchería Zamora se fundó en el año 1991 por el Ingeniero Químico Marcos Zamora, quien empezó una pequeña empresa familiar dedicada a la fabricación de estuches, cajas, exhibidores y bolsas para joyerías, la cual actualmente es una empresa que participa en el mercado local como proveedor a nivel nacional de joyerías.

La empresa tiene una planta de producción ubicada en Jr. Tacna 151 Zona 2, Comas, Lima, Perú; cuenta con 7 trabajadores (incluido el dueño), los cuales tienen la capacidad para trabajar en equipo y bajo presión puesto que en ocasiones los clientes hacen pedidos de varias docenas para un plazo de dos días, teniendo en cuenta la exigencia respecto a la calidad del producto.

Los clientes en la empresa tienden a ser muy exigentes en cuanto a la calidad del producto, debido a que son joyerías de alto reconocimiento a nivel nacional como Baliq Joyas, Sissai Joyería, Centro Suizo Relojero, entre otros; asimismo, la empresa ha ganado durante varios años, licitaciones con El Ejército Peruano para la producción de cofres y estuches para conmemoraciones, lo cual los obliga a tener una mejora continua para ofrecer a sus clientes un excelente producto y así lograr su preferencia.

La empresa cuenta con varios proveedores debido a que la materia prima no es tan difícil de conseguir. Estuchería Zamora no depende de ningún proveedor en especial. Los insumos utilizados son iguales a la de la competencia pero la gran diferencia es el diseño y calidad en sus acabados, así por ejemplo se tiene la calidad de la pana que se emplea para la fabricación de los estuches.

## 1.2. Descripción de la organización

Estuchería Zamora es una microempresa de producción dedicada a la elaboración de cajas, estuches, bolsas y exhibidores para joyas como collares, pulseras, aretes, anillos, entre otros. También brinda servicios adicionales como de maletas a diseño del cliente, atendiendo así la demanda.

La empresa además de presentar productos de calidad, puede realizar pedidos de hasta 1000 unidades en un lapso de tiempo de 3 días; y posee una capacidad de producción de 500 docenas por mes.

Estuchería Zamora tiene como objetivo que la marca sea reconocida y valorada en el mercado, y a su vez que alcance el máximo volumen de ventas de estuches y cajas semanalmente.

### *MISIÓN*

Somos una empresa que brinda productos de calidad en el mercado nacional para satisfacer las necesidades de nuestros clientes; que cultiva en su gente el servicio al cliente, el trabajo en equipo, la mejora continua y la pasión por el éxito.

### *VISIÓN*

Ser la empresa líder en la producción y venta de cajas, estuches, bolsas y exhibidores reconocidos a nivel nacional por la calidad de nuestros productos, al servicio del cliente, con excelencia operativa y ayudándonos en la calidad de su gente.

***VALORES***

- Responsabilidad individual y espíritu emprendedor de nuestros empleados, gracias a una organización flexible y un sistema personalizado de incentivos.
- Fuerte cultura de servicio para construir relaciones sólidas y de confianza con nuestros clientes a largo plazo.
- Respeto entre todos y cada uno de los miembros que conforman la empresa sin importar la jerarquía.

### 1.3. Contexto socioeconómico

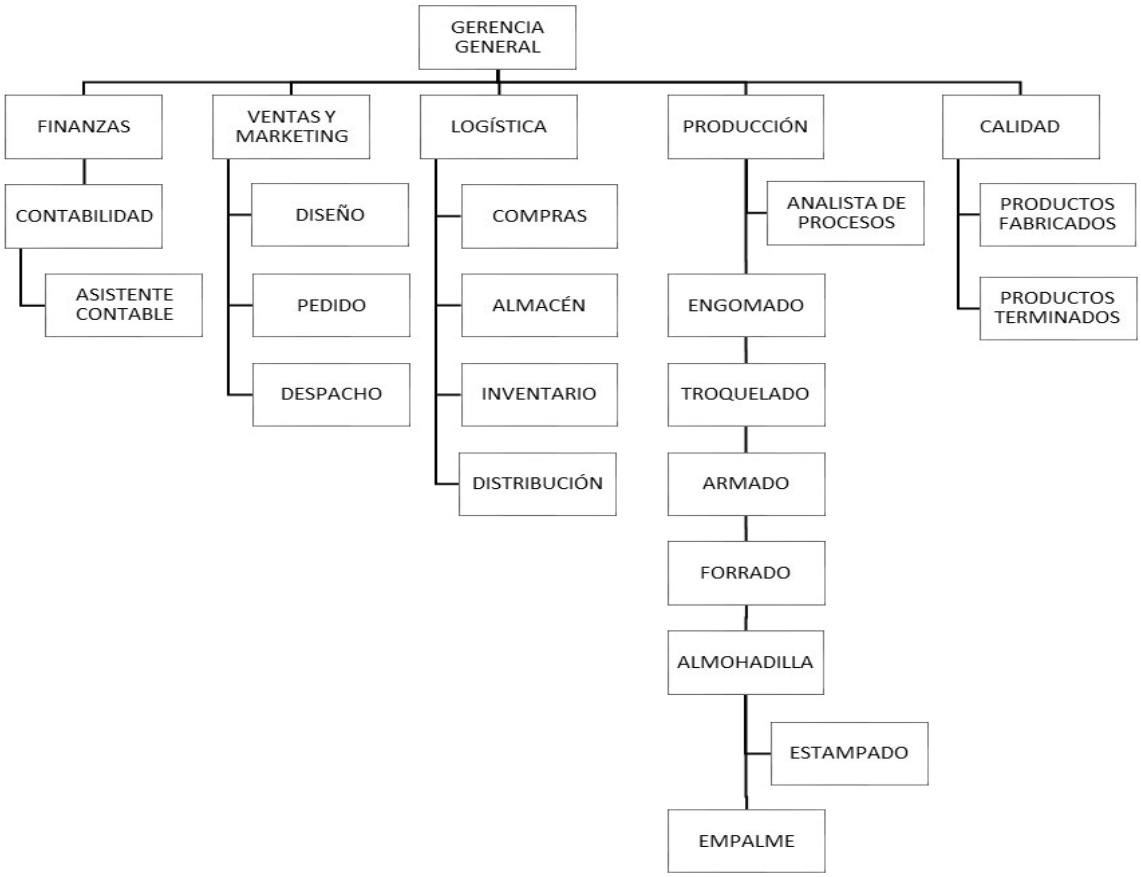
Estuchería Zamora es una empresa manufacturera, con R.U.C. N° 10090161283, cuya actividad económica principal es la fabricación de estuches, cajas y exhibidores a medida, para joyerías a nivel nacional.

El gerente y dueño, Marcos Zamora, es ingeniero químico y lleva más de veinte años en puestos de dirección en empresas relacionadas con fabricación de estuches y la logística. Asimismo, el equipo promotor tiene experiencia en cuanto al tema de las manualidades y en el marketing de varias líneas de consumo.

La empresa tiene una estructura organizacional jerárquica como se muestra en la Figura 1, en la cual todas las áreas están fuertemente relacionadas, desde la coordinación de la orden de pedido (mediante el correo marcoszamora2807@gmail.com), hasta su distribución.

**Figura 1**

*Estructura Jerárquica.*




Fuente: Elaboración Propia

## 1.4. Descripción general de experiencia

Al iniciarme en la Empresa Estuchería Zamora, programé la secuencia de procesos de producción, así como la asignación de los trabajadores a cada proceso de producción, recolectando información en base a entrevistas y observación al personal de la empresa, para lo cual analicé los datos y desarrollé el problema en dos etapas. Y propuse al dueño una solución para su evaluación posterior.

## 1.5. Explicación del cargo, funciones ejecutadas

El cargo desempeñado en la empresa Estuchería Zamora, fue de Analista de procesos en el Área de Producción.

Funciones principales:

- Diseño y doy seguimiento, en conjunto con el dueño, a los procesos e implementación de las mejoras aprobadas para obtener retroalimentación y garantizar su funcionalidad.
- Elaboro los instructivos o manuales de los procesos realizados en la organización.
- Elaboro diagramas de los procesos operativos, flujograma de los procesos y subprocesos.

### 1.6. Propósito del puesto

**OBJETIVO PRINCIPAL**

Hacer una revisión continua y permanente actualización de los procesos productivos, manteniendo un enfoque de calidad y trabajo en equipo, para lograr la eficiencia operativa de la organización.

**OBJETIVOS ESPECÍFICOS:**

- Dar seguimiento en la implementación de las mejoras del sistema de producción.
- Informar sobre las mejoras en los tiempos de producción de cada proceso productivo.

**RETOS**:

- Que la empresa tenga mejor reconocimiento entre las joyerías por la calidad del producto.
- Que aumente las recomendaciones de la empresa entre las joyerías.
- Crear un valor añadido diferenciado para la empresa.

## 1.7. Producto o proceso que será objeto del informe

### a) Título

Secuencia de procesos y asignación de personal en una empresa productora de estuches.

### b) Formulación del problema

**Pregunta principal**

¿Cómo desarrollar una asignación de personal que mejore la secuencia de procesos en una empresa productora de estuches?

**Preguntas específicas**

¿Cómo identificar qué proceso debe realizar cada empleado?

¿Cómo obtengo el mejor tiempo de producción para cada proceso?

¿En qué momento debe iniciarse los trabajos?

¿Cómo minimizar los tiempos totales de producción de los pedidos?

### c) Realidad problemática

Estuchería Zamora participa en el mercado local como proveedor a nivel nacional de estuches, cajas y exhibidores para joyerías. Entonces para cumplir con la demanda de los clientes se debe mejorar el sistema de producción, a fin de reducir el tiempo total de producción.

La demanda de productos en temporadas altas (Día de San Valentín, Día de la Madre, Fiestas Patrias, Navidad y Año Nuevo) es elevada, lo que originó cuellos de botella en la producción de los estuches porque no se tiene una buena organización en el área productiva. Es decir, no se sigue una correcta secuencia en los trabajos y existe una mala asignación de tarea al personal que la realiza, razón por la cual los pedidos se entregan fuera de tiempo.

Esto a su vez, generó que se perdiera la preferencia de los clientes de la empresa y la desconfianza de los mismos. También ha ocasionado que se forme una mala reputación frente a otras joyerías.

### d) Objetivos

#### *Objetivo principal*

Desarrollar una asignación de personal para mejorar la secuencia de procesos en una empresa productora de estuches.

#### *Objetivos específicos*

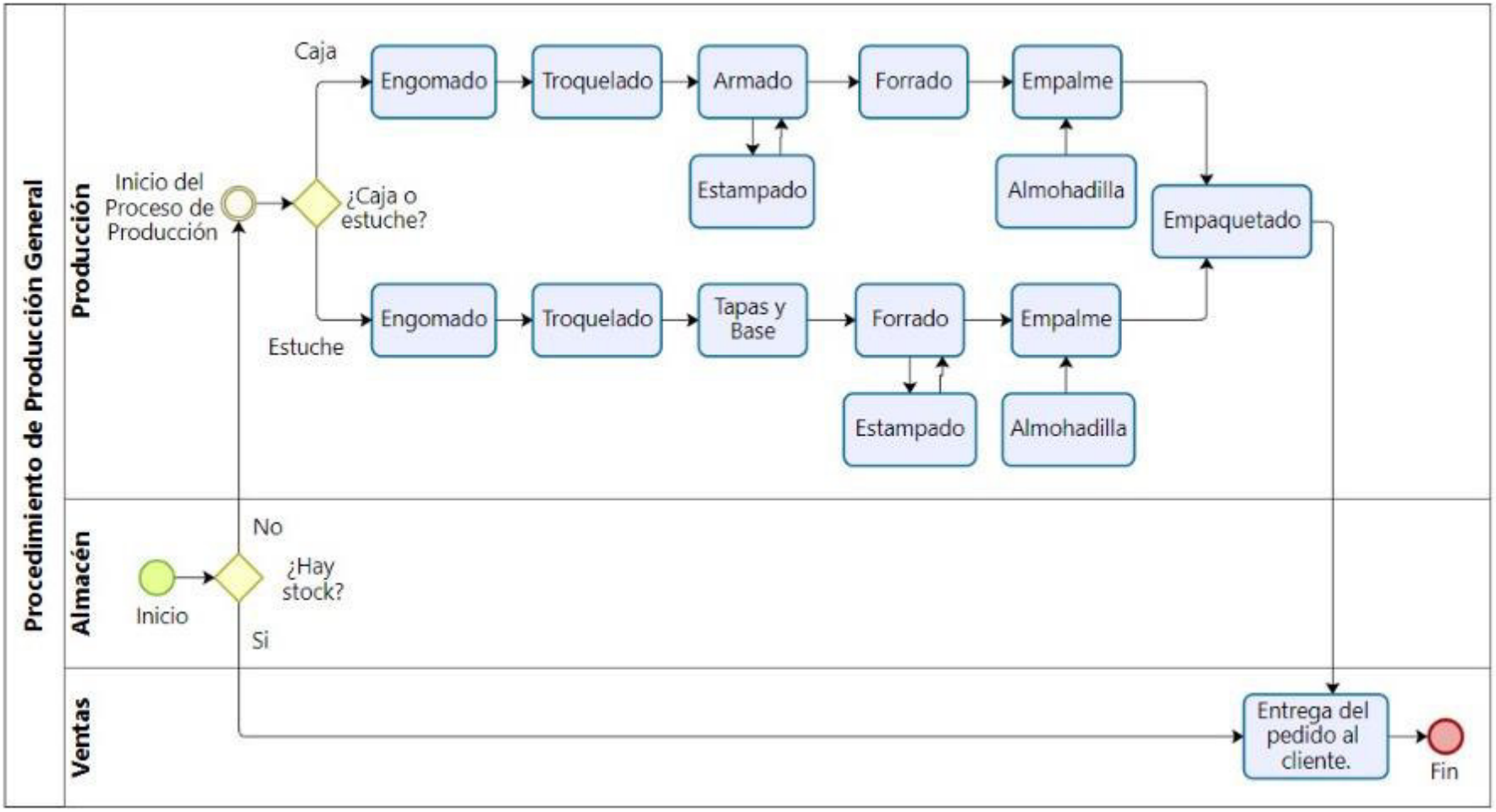
- Identificar el proceso que debe realizar cada empleado.
- Obtener el mejor tiempo de producción para cada proceso.
- Determinar el momento en que debe iniciarse los trabajos.
- Minimizar los tiempos totales de producción de los pedidos.

### e) Flujograma de Producción General

En la Figura 2 se presenta le flujograma de producción general, enfocado al proceso de producción de cajas y estuches, ya que son los productos de mayor rotación según el Gerente de la empresa. Por otro lado, se dividió la producción por tipo de producto y no por proceso productivo, debido a que el material empleado es distinto para cada caso, para las cajas se emplea cartón dúplex y papel contact, y para los estuches se usa cartón gris y pana o cuero.

**Figura 2**

*Procedimiento de Producción General*




Fuente: Elaboración Propia

**f) Delimitaciones**

- **Espacial**

La presente investigación, se realizó en el taller de producción de la empresa Estuchería Zamora, ubicado en el Distrito de Comas, Lima, Perú.

- **Temporal**

El estudio se elaboró con el personal y dueño de la empresa, durante 5 meses en el año 2019 (antes de pandemia), para la toma de datos.

- **Temática**

Se empleará los temas como: Programación Lineal, Secuenciación, Asignación, Procesos de producción y Tiempos de procesamiento.

- **Limitaciones**

Una de las limitaciones en la investigación, fue que para modelar el problema, se tuvo que plantear en base a la elaboración de un producto de cada tipo (1 caja y 1 estuche), debido a que si se modelaba para una cierta cantidad de producción, sólo serviría para la producción de ese lote, cuando en realidad la producción está de acuerdo a la cantidad de pedidos de estuches.

## 1.8. Resultados concretos alcanzados

Se detectó que la empresa Estuchería Zamora tenía un problema en el área de producción, en la cual cuando un empleado empezaba a realizar un proceso, no estaba terminado el proceso que precedía a este generando un retraso en la producción. Para lo cual se propuso modelar un programa de programación entera para mejorar la secuencia de procesos y a su vez la asignación de personal a trabajos, y reducir tiempos totales de producción.

# CAPÍTULO II – FUNDAMENTACIÓN

## 2.1. Teorías asociadas al tema

### 2.1.1. Programación Entera Pura

Taha (2012) indica que: "…un problema se define como programa entero puro cuando todas las variables son enteras." (p.316).

En el caso de la empresa Estuchería Zamora, surgió el problema de la mala secuenciación de los procesos, en cuyo modelamiento, es necesario saber el tiempo de producción de cada proceso. Entonces para saber cuál es el mejor tiempo de cada proceso, primero se debe determinar qué personal hará cada proceso de producción.

Por lo tanto, se aplicó un modelo matemático para asignar al personal el trabajo a realizar, con variables discretas y restricciones de acuerdo al tiempo de producción.

### 2.1.2. Programación Entera Mixta

Un modelo se llamará programación entera mixta (PEM), cuando sólo es necesario que algunas de las variables tengan valores enteros (Hillier y Lieberman, 2010).

En la entidad de estudio, se tuvo como problema el mal procesamiento en la producción de estuches, en donde el personal no sabía exactamente en qué momento empezar la producción del respectivo proceso que realizaba cada uno de ellos, lo que ocasiona que cuando un trabajador quería empezar su tarea, el proceso que precedía al suyo, no estaba acabado y se retrasaba todo el proceso, provocando que la producción demore.

Es por ello que se aplicó un modelo de programación entera mixta para el problema de secuenciación de procesos, y que la producción sea continua no permitiendo retrasos en la entrega de pedidos.

## 2.2. Acciones, Metodologías y Procedimientos

El presente Trabajo de Suficiencia Profesional, está orientado a resolver el problema de secuenciación de procesos que se genera en la producción de estuches, para ello se siguió al siguiente procedimiento:

**Tabla 1**

*Cuadro de Procedimientos para resolver el problema*

| Procedimiento | Situación | Descripción |
|---|---|---|
| Determinar los procesos de producción | Conocer los procesos con sus precedencias. | Se entrevistó al dueño de la empresa para conocer los procesos de producción y la relación de precedencia entre los procesos de acuerdo a cada producto (caja y estuche). |
| Medir los tiempos de producción | Calcular los tiempos promedios de producción. | Se midió los tiempos de procesos de acuerdo a la producción de cada empleado, para obtener los tiempos promedios de cada variable y ordenarlos por procesos y por trabajador.<br>Estos datos fueron tomados en la producción para fiestas patrias de 2019 (temporada alta) y la producción que se observó fue de las cajas y estuches de medida 6x7 (arete, dije, sortija y juego), 8x8 (bangle) y pulsera, las cuales son de mayor rotación, según el dueño de la empresa. |

| | | |
|---|---|---|
| Modelar el problema usando Programación Entera | Construir modelos de programación entera. | Se construyó el modelo para la asignación de personal utilizando programación entera, y para modelar el problema de secuenciación, se utilizó programación entera mixta. |
| Resolver el problema en el programa Lingo | Solución mediante el programa Lingo. | Se elaboró un algoritmo para los problemas de asignación de personal y secuenciación de procesos, para implementarlos en el programa Lingo. |
| Analizar los resultados | Verificación de resultados. | Se analizó el modelo de asignación del personal a trabajos en relación con el trabajo que realizaba la empresa. Asimismo, se comparó el resultado del modelo de secuenciación, los tiempos finales de producción con respecto al trabajo realizado. |

Fuente: Elaboración Propia

### 2.2.1. Marco teórico

#### 2.2.1.1. Antecedentes de la investigación

Eyzaguirre Tejada, R. (1999), presentó un artículo denominado “Problema de determinación del orden de ejecución de *n* trabajos en m máquinas donde cada trabajo tiene una secuencia de proceso diferente” en Industrial Data, 2(2), Pag.44–47. Presentó un problema para optimizar el tiempo de elaboración de varios productos de diferentes procesos. Tuvo como finalidad demostrar que con una solución grafica fue más simple hallar el orden en la ejecución de *n* trabajos; para lo cual, utilizó el Algoritmo de H. Greenberg asociado a una red de ruta crítica.

Finalmente mostró que para problemas pequeños, el método gráfico es más práctico a diferencia de la programación lineal que resolvió el ejercicio con un número de 152 iteraciones.

Tejada Muñoz (2017), en su Tesis doctoral titulada. “Enrutamiento y secuenciación óptimos en un flexible Job Shop multiobjetivo mediante algoritmos genéticos” de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Tuvo por objetivo resolver el problema relacionado a la programación del procesamiento de un conjunto de trabajos en un grupo de máquinas de una empresa manufacturera de tipo “Flexible Job Shop”, por lo que propuso dividirlo en un problema de enrutamiento y otro de secuenciación, aplicando algoritmos genéticos. Como resultado del primer problema obtuvo una minimización en la carga de trabajo de la máquina más saturada y en la carga total de trabajo, lo cual ayudó en el segundo problema, minimizando el tiempo de terminación de todos los trabajos realizados.

Otro caso fue el que presentó Soriano Palomo (2014), en su trabajo denominado “MODELOS DE PROGRAMACIÓN LINEAL PARA DOS PROBLEMAS DE SECUENCIACIÓN CON VARIOS CONJUNTOS DE TRABAJOS” en la Universidad de Sevilla. Tuvo como propósito minimizar funciones relativas al tiempo de finalización de los trabajos, para lo cual resolvió el problema de secuenciación con dos grupos de trabajos de máquinas paralelas mediante Programación Lineal. Para casos prácticos, resultó que usar un modelo de programación lineal es complejo, y programando en lenguaje Matlab, el tiempo máximo de ejecución era de más de una hora.

Así mismo, Carrasco Díaz (2016), en su trabajo de Fin de Grado titulado “Modelado y resolución de problemas de secuenciación de tareas. Aplicación a una empresa de fabricación de electrodos” de la Universidad de Sevilla. Presentó el problema de secuenciación con la finalidad de ajustar la distribución de demanda proveniente de la carga de máquinas de trabajo semanal. Para lo cual presentó varios modelos de

programación lineal, teniendo como producto distintas soluciones en base a los datos ingresados, y con ello nuevas formas de flujo de tarea para una mayor visualización que se adaptó al problema real de la empresa. Como consecuencia se redujo las rutas en un 21% y 27% y el transporte de las máquinas en un 15% y 22%.

Pérez Becerra (2006). En su tesis de nombre “Modelo de asignación aplicado a la manufactura en una cadena de abastecimientos” de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Tuvo por objetivo determinar para un período específico, qué máquinas debieron ser asignadas para los distintos pedidos proyectados. Aplicó Programación Lineal Entera Binaria para resolver un problema de asignación, obteniendo una reducción en los tiempos totales de ejecución de los pedidos y a su vez un ahorro de aproximadamente 300 mil soles anuales para la empresa.

En el trabajo de investigación de Flores Espinoza (2017). “LA SISTEMATIZACIÓN DEL PROCESO DE ASIGNACIÓN DE PERSONAL CON EL FIN DE IMPLEMENTAR LAS ESPECIALIDADES FUNCIONALES DENTRO DE LA POLICÍA NACIONAL DEL PERÚ” de la Pontificia Universidad Católica del Perú. Creó un sistema informático basado en las condiciones y capacidades necesarias para cada puesto dentro de la Policía Nacional, con el fin de regular y agilizar el proceso de asignación de personal policial. Para lo cual coordinó con las dependencias comprometidas y propuso modificar la normativa de cumplimiento, diseñar el perfil requerido para cada puesto, clasificar al personal de acuerdo a los perfiles profesionales y diseñar un programa adecuado para el proceso de asignación. Como consecuencia, se redujo en un 50% el tiempo de procesamiento en la asignación de personal, el cual era entre dos a tres meses; y se economizó el material logístico, reduciendo el equipo de trabajo de treinta a seis personas.

Sepúlveda Gutiérrez (2013) en su memoria llamada “DISEÑO DE UN MODELO DE OPTIMIZACIÓN PARA LA ASIGNACIÓN DE PERSONAL EN UNA CONSULTORA” en la Universidad de Chile. Presentó el problema de la asignación de recursos a cada proyecto, teniendo en cuenta el tiempo y los costos. Su finalidad fue reducir el tiempo en la preparación de la planilla de asignaciones de los consultores a diversos proyectos, el cual originalmente demoraba 2 días con un costo ascendente a $ 600.000 mensual. Empleó dos modelos de programación lineal entera, primero minimizó los costos de asignación, y después minimizó la calificación de desempeño del consultor en un proyecto, usando la estrategia de a menor calificación, mejor el desempeño. Con el primer modelo logró que para el ejercicio de 15 proyectos, el costo de horas ociosas sea de $ 412.500 mensuales, y con el segundo modelo realizando 20 proyectos, el costo fue de $ 286.875 mensuales.

Por otro lado, Di Mattia Castro (2014). En su tesis de Grado de Maestría, cuyo título es “DISEÑO DE UN MODELO MATEMÁTICO PARA LA ASIGNACIÓN DE PERSONAL A MÚLTIPLES TRABAJOS DE MANTENIMIENTO DE UNA INSTITUCIÓN PÚBLICA” en la Escuela Superior Politécnica del Litoral. Realizó un control de trabajos realizados, trabajos programados y materiales entregados, cuyo propósito fue de diseñar un modelo matemático para la asignación de personal y dar apoyo al personal de mantenimiento, para ello desarrolló un modelo matemático aplicado en GAMS; y obtuvo como resultado que asignando una política de un número exacto de trabajos, no generaba un costo adicional en la institución, a diferencia de cuando la asignación era empírica, los trabadores debían hacer horas extras que conllevaba un valor agregado.

#### 2.2.1.2. Bases Teóricas

##### 2.2.1.2.1 Programación Lineal

En la actualidad, el uso de la Programación Lineal ha ahorrado millones de dólares en muchas compañías y negocios ya que dentro de su aplicación engloba al problema general asignando de una manera óptima los recursos limitados a actividades. La Programación Lineal emplea un modelo matemático que simplifica y describe el problema. El término lineal es debido a que sus funciones deben ser totalmente lineales.

El modelo matemático de la Programación Lineal, se compone de una función objetivo que debe ser maximizada o minimizada, restricciones que limitan el valor de las variables de decisión y las relacionan entre ellas. Este modelo tiene una relación lineal entre las variables de decisión, las cuales pueden tomar valores enteros o continuos y positivos.

Winston (1991) indica que cuando todas las variables de problema son todos enteros, se dice que es un problema de programación entero puro, pero si tiene variables de decisión enteras y continuas, entonces es mixto. En caso las variables sean sólo 0 y 1 (binario), es un problema de Programación Entero Binario.

El modelo general de programación es el siguiente:

$$Min\ o\ Max\ Z = Cx$$
$$S.a. \qquad Ax = b$$
$$x \geq 0$$
$$x_i \in Z, \forall\ i \in I$$

##### 2.2.1.2.2 Teoría de la Secuenciación de tareas

La secuenciación y la programación forman parte de la toma de decisiones en las industrias de producción y se ha vuelto una necesidad para sobrevivir en el mercado, como lo explica Pinedo (2008) donde las empresas deben cumplir con las fechas de envío de los pedidos según el acuerdo con el cliente.

Según Conway, Maxwell, & Miller (1967) programar un proceso de taller de trabajo es la función de asignar cada operación a una posición específica en la escala de tiempo para una máquina específica.

Se tiene que identificar los atributos de las operaciones y el orden parcial de las operaciones de un trabajo que están presentes en cada problema de programación. Los problemas van a diferir según el número de trabajos que pueden procesar, la manera en como los trabajos llegan al taller, y el orden en el cual las diferentes máquinas aparecen en las operaciones de los trabajos individuales.

- ***Solución de la Secuenciación usando Programación Lineal***

En los problemas de secuenciación, se denota a $M_j$ (*j = 1, 2, …, m*) al conjunto de ***m*** máquinas que procesan ***n*** trabajos pertenecientes al conjunto $J_i$ (*i = 1, 2, …, n*).

La secuenciación puede ser representada gráficamente por el diagrama de Gantt orientado a máquinas o trabajos.

**Figura 3.1**

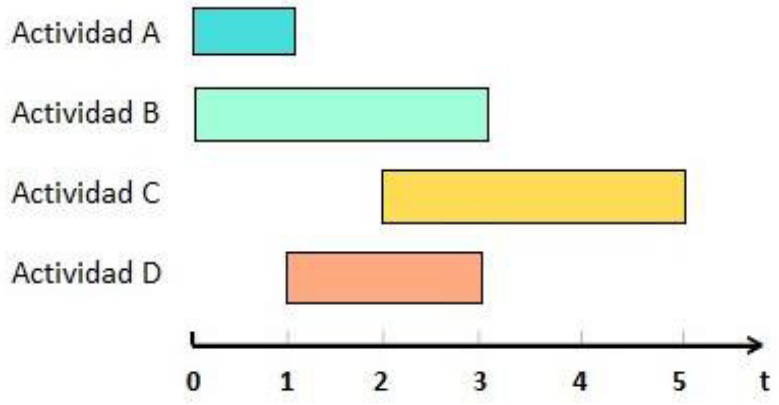
*Diagrama de Gantt, orientado a máquinas*




Fuente: Elaboración Propia.

**Figura 3.2**

*Diagrama de Gantt, orientado a trabajos.*




Fuente: Elaboración Propia.

Cada uno de los ***n*** trabajos se compone de una serie de operaciones que necesitan ciertos recursos, denominados $O_{ij}$.

En los resultados se tendrán:

*a)* Tiempo inicial: $SO_{ij}$

*b)* Tiempo final: $EO_{ij}$

*c)* Ruta de procesado en una máquina: $R_j$

d) Tiempo de proceso de cada operación: $p_{ij}$

*e)* Tiempo de llegada al sistema: $r_j$

f) Fecha de entrega cuando un trabajo es terminado: $d_j$

g) Prioridad de un trabajo: $w_j$

El modelo matemático del problema de secuenciación contiene las siguientes variables de decisión:

$C_j$: $Tiempo\ de\ terminación\ de\ un\ trabajo\ j.$

$F_j$: $Tiempo\ de\ flujo\ de\ un\ trabajo\ j.$

$L_j$: $Retraso\ de\ un\ trabajo\ j.$

$T_j$: $Tardanza\ de\ un\ trabajo\ j.$

$E_j$: $Adelanto\ de\ un\ trabajo\ j.$

Las funciones objetivos son las siguientes:

$C_{max}$: $Máximo\ tiempo\ de\ finalización.$

$\sum C_j$ : $Tiempo\ total\ de\ terminación.$

$\sum L_j$ : $Tiempo\ total\ de\ retraso.$

$\sum U_j$ : $Número\ total\ de\ trabajos\ tardíos.$

Sujeto a:

- Todos los trabajos y máquinas están disponibles al comienzo de la programación.
- Si una operación se está llevando a cabo, los trabajos no se pueden interrumpir.
- Cada una de las máquinas puede hacer una operación a la vez y cada trabajo debe ser procesado sólo por una máquina.
- Los tiempos de llegadas pueden diferir.
- Se debe crear limitaciones en el tiempo de entrega de los trabajos.

#### 1.2.1.2.3. Teoría de la Asignación de recursos

Según Calafell Castello (1972) el problema de la asignación óptima de recursos consiste en obtener la máxima rentabilidad posible de los recursos escasos, el cual permite modelar muchas situaciones reales de interés, como afirma Avila Herrera (1997) que propone una solución basada en redes de transporte para el caso de asignación de profesores.

Hillier & Lieberman (2010) señala que el problema de asignación es un tipo de problema de programación entera binaria, en el que los asignados son recursos que se destinan a la realización de tareas. Por ejemplo, los asignados pueden ser el personal a quienes se les designa cierto trabajo. La formulación de problema de asignación debe cumplir con los siguientes supuestos:

a) El número de recursos es equivalente al número de tareas. (Denotado por ***n***.)
b) A cada asignado se le asigna sólo una tarea.
c) Cada tarea debe ser realizada sólo por un asignado.
d) Existe un costo $c_{ij}$ asociado al asignado *i* (*i = 1, 2, …, n*) que realiza la tarea ***j*** (*j = 1, 2, …, n*).
e) La finalidad es determinar cómo deben realizarse las ***n*** asignaciones para minimizar los costos totales.

- ***Modelo Asignación con Programación Entera***

El modelo matemático del problema de asignación contiene las siguientes variables de decisión:

$$x_{ij} = \begin{cases} 1 & si\ se\ asigna\ i\ para\ realizar\ la\ tarea\ j, \\ 0 & si\ no\ es\ así, \end{cases} \quad (1)$$

Para *i = 1, 2,…, n* y *j = 1,2,…, n*. Entonces, cada $x_{ij}$ es un variable binaria.

Si *Z* es el costo total, el modelo del problema de asignación es:

$$Minimizar \quad Z = \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{n} c_{ij}\, x_{ij,} \qquad (2)$$

Sujeto a

$$\sum_{j=1}^{n} x_{ij} = 1 \quad Para\ i = 1,2, \dots, n, \qquad (3)$$

$$\sum_{i=1}^{n} x_{ij} = 1 \quad Para\ i = 1,2, \dots, n, \qquad (4)$$

y

$$x_{ij} \geq 0, para\ toda\ i\ y\ j\ \left(x_{ij}\ binaria\ para\ toda\ i\ y\ j\ \right).$$

En (3) especifica que cada asignado realiza sólo una tarea, y en (4) establece que cada tarea debe ser realizada sólo por un asignado.

# CAPÍTULO III – APORTES Y DESARROLLO DE LA EXPERIENCIA

## 3.1. Desarrollo de la experiencia

### 3.1.1. Determinación de los procesos de producción

Como resultado de las entrevistas al personal de la Empresa, se tiene la lista de los procesos de producción, como se detalla en la Tabla 2, asimismo, en la Tabla 3 se muestra la relación de precedencia entre estos procesos de acuerdo a cada producto (caja y estuche).

Los procesos para la producción de cajas y estuches son:

**Tabla 2**

*Cuadro de Procesos*

| Proceso | Nombre del Proceso |
|---|---|
| A | Engomado |
| B | Troquelado |
| C | Armado |
| D | Forrado |
| E | Empalme |
| F | Almohadilla |
| G | Tapas y Base |
| H | Estampado |

Fuente: Estuchería Zamora (2019)

Relación de precedencia de los procesos para la caja:

**Tabla 3**

*Cuadro de precedencia para cajas*

| Proceso | Descripción | Precedencia |
|---|---|---|
| A | Se pegan dos planchas de cartón dúplex con cola sintética y se secan al ambiente por 3 días, luego se cortan en pequeñas secciones de aproximadamente una hoja A4 y se mandan a troquelar. | - |
| B | Se toma un cartón contraplacado en la máquina troqueladora, se ejerce presión manualmente en la palanca y se retira el cartón troquelado. | A |
| C | Se toma una lámina de cartón troquelado, se separa del resto del cartón (que se desecha), se manda a estampar, se dobla manualmente el cartón, se coloca pegamento de contacto en las esquinas y se pega. | B, H |
| D | Se toma una lámina de papel autoadhesivo, se corta según medida, se forra manualmente toda la caja con el papel autoadhesivo. | C |
| E | Se unen con cola sintética todas las piezas de la caja, se coloca la almohadilla a presión y se tapa la caja. | D, F |

| | | |
|---|---|---|
| H | Se toma el cartón destinado para la tapa, se encaja al molde del hot staming y se pone una lámina de pan de plata, se retira el cartón estampado y se dobla manualmente. | C |

Fuente: Estuchería Zamora (2019)

Relación de precedencia de los procesos para el estuche:

**Tabla 4**

*Cuadro de precedencia para estuches*

| Proceso | Descripción | Precedencia |
|---|---|---|
| A | Se pegan dos planchas de cartón gris con cola sintética y se secan al ambiente por 3 días, luego se cortan en pequeñas secciones de aproximadamente una hoja A4 y se mandan a troquelar. | - |
| B | Se toma un cartón contraplacado en la máquina troqueladora, se ejerce presión manualmente en la palanca y se retira el cartón troquelado. | A |
| D | Se corta según medida el cartón gris y la pana, se baña con pegamento de contacto el cartón y se pega a la pana. | G, H |

| | | |
|---|---|---|
| E | Se unen con cola sintética todas las piezas del estuche, se coloca la almohadilla a presión y se cierra el estuche. | D, F |
| G | Se toma el cartón dúplex, el dulompillo y la pana, se cortan a medida. Se baña con pegamento de contacto el cartón, se pega el dulompillo y después la pana. | B |
| H | Se toma la pana destinada como almohadilla para la tapa, se encaja al molde del hot staming y se pone una lámina de pan de oro, se retira la estampada. | D |

Fuente: Estuchería Zamora (2019)

### 3.1.2. Medición de los tiempos de producción

En la Tabla 11 se muestra el llenado de las fichas de duración de los procesos observados, que contenía un cuadro con 5 divisiones, indicando el nombre del trabajador, el producto que se elabora, el proceso que se realiza, el tiempo de inicio del proceso y el tiempo en que termina el proceso. Estos datos se ingresaron en una hoja de cálculo de Excel para obtener los tiempos promedios de cada variable y ordenarlos por procesos y por trabajador, la cual se detalla en la Tabla 5.

**Tabla 5**

*Cuadro de Tiempos Promedios de Proceso por Personal*

| Personal / Proceso | Engomado | Troquelado | Armado | Forrado | Empalme | Almohadilla | Tapas y Base | Estampado |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Gilberto | 0:00:19 | 00:01:31 | - | - | - | - | 00:12:16 | 00:00:12 |
| Yolanda | 0:00:21 | - | 00:02:15 | 00:07:05 | 00:02:10 | - | 00:12:32 | - |
| Mariel | 0:00:23 | - | 00:02:12 | 00:07:30 | 00:02:05 | - | 00:12:30 | - |
| Susana | - | - | 00:02:20 | 00:07:46 | 00:02:30 | - | 00:12:41 | - |
| Mayra | - | - | 00:02:18 | 00:06:55 | 00:02:06 | 00:04:36 | - | - |
| Dora | - | - | 00:02:33 | - | 00:02:35 | 00:04:20 | - | - |
| Marcos | 0:00:20 | 00:01:42 | - | - | - | 00:04:57 | - | 00:00:11 |

Fuente: Estuchería Zamora (2019)

### 3.1.3. Construcción del modelo de asignación

Para modelar el problema de asignación, se requiere balancear el cuadro de tiempos entre el personal y los procesos a realizar, de tal manera que la cantidad de trabajadores sea la misma que la cantidad de procesos productivos; y a su vez, convertir los tiempos en segundos.

**Tabla 6**

*Cuadro Balanceado de Tiempos de Proceso por Personal*

| Personal / Proceso | Engomado | Troquelado | Armado | Forrado | Empalme | Almohadilla | Tapas y Base | Estampado |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Gilberto | 0:00:19 | 00:01:31 | - | - | - | - | 00:12:16 | 00:00:12 |
| Yolanda | 0:00:21 | - | 00:02:15 | 00:07:05 | 00:02:10 | - | 00:12:32 | - |
| Mariel | 0:00:23 | - | 00:02:12 | 00:07:30 | 00:02:05 | - | 00:12:30 | - |
| Susana | - | - | 00:02:20 | 00:07:46 | 00:02:30 | - | 00:12:41 | - |
| Mayra | - | - | 00:02:18 | 00:06:55 | 00:02:06 | 00:04:36 | - | - |
| Dora | - | - | 00:02:33 | - | 00:02:35 | 00:04:20 | - | - |
| Marcos | 0:00:20 | 00:01:42 | - | - | - | 00:04:57 | - | 00:00:11 |
| Personal | - | - | - | - | - | - | - | - |

Fuente: Estuchería Zamora (2019)

**Tabla 7**

*Cuadro Balanceado de Tiempos de Proceso por Personal convertida en segundos*

| Personal / Proceso | Engomado | Troquelado | Armado | Forrado | Empalme | Almohadilla | Tapas y Base | Estampado |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Gilberto | 19 | 91 | 10000 | 10000 | 10000 | 10000 | 736 | 12 |
| Yolanda | 21 | 10000 | 135 | 425 | 130 | 10000 | 752 | 10000 |
| Mariel | 23 | 10000 | 132 | 450 | 125 | 10000 | 750 | 10000 |
| Susana | 10000 | 10000 | 140 | 466 | 150 | 10000 | 761 | 10000 |
| Mayra | 10000 | 10000 | 138 | 415 | 126 | 276 | 10000 | 10000 |
| Dora | 10000 | 10000 | 153 | 10000 | 155 | 260 | 10000 | 10000 |
| Marcos | 20 | 102 | 10000 | 10000 | 10000 | 297 | 10000 | 11 |
| Personal | 10000 | 10000 | 10000 | 10000 | 10000 | 10000 | 10000 | 10000 |

Fuente: Elaboración Propia.

En la Tabla 7, se muestra el cuadro de tiempos que se ingresó como datos al programa LINGO. Como el objetivo del problema es minimizar los tiempos de producción, se consideró un valor alto en el tiempo de los procesos que el personal no realizada.

El modelo de programación binaria para la asignación:
Siendo:

$$X_{ij} = \begin{cases} 1, & si\ la\ persona\ i\ realiza\ el\ trabajo\ j \\ 0, & si\ la\ persona\ i\ no\ realiza\ el\ trabajo\ j \end{cases}$$

Donde:

$i = 1(Gilberto), 2(Yolanda), 3(Mariel), 4(Susana),$
$5(Mayra), 6(Dora), 7(Marcos)\ y\ 8(Personal)$ y

$j = A(Engomado), B(Troquelado), C(Armado), D(Forrado)$
$E(Empalme), F(Almohadilla), G(Tapas\ y\ Base)\ y\ H(Estampado)$

Función Objetivo:

$$\begin{aligned} Min\ Z = {} & 19 * X_{1A} + 91 * X_{1B} + 736 * X_{1G} + 12 * X_{1H} + 21 * X_{2A} + 135 * X_{2C} \\ & + 425 * X_{2D} + 130 * X_{2E} + 752 * X_{2G} + 23 * X_{3A} + 132 * X_{3C} \\ & + 450 * X_{3D} + 125 * X_{3E} + 750 * X_{3G} + 140 * X_{4C} + 466 * X_{4D} \\ & + 150 * X_{4E} + 761 * X_{4G} + 138 * X_{5C} + 415 * X_{5D} + 126 * X_{5E} \\ & + 276 * X_{5F} + 153 * X_{6C} + 155 * X_{6E} + 260 * X_{6F} + 20 * X_{7A} \\ & + 102 * X_{7B} + 297 * X_{7F} + 11 * X_{7H} + 19 * X_{8A} + 91 * X_{8B} \\ & + 10000 * X_{8C} + 10000 * X_{8D} + 10000 * X_{8E} + 10000 * X_{8F} \\ & + 736 ** X_{8G} + 12 * X_{8H} + 10000 * (X_{1C} + X_{1D} + X_{1E} + X_{1F} \\ & + X_{2B} + X_{2F} + X_{2H} + X_{3B} + X_{3H} + X_{3H} + X_{4A} + X_{4B} + X_{4F} \\ & + X_{4H} + X_{5A} + X_{5B} + X_{5G} + X_{5H} + X_{6A} + X_{6B} + X_{6D} + X_{6G}) \\ & + X_{6H} + X_{7C} + X_{7D} + X_{7E} + X_{7G}) \end{aligned}$$

Sujeto a:

(Un trabajador puede realizar sólo un proceso)

$$\begin{aligned} [Gilberto] \quad & X_{1A} + X_{1B} + X_{1C} + X_{1D} + X_{1E} + X_{1F} + X_{1G} + X_{1H} = 1; \\ [Yolanda] \quad & X_{2A} + X_{2B} + X_{2C} + X_{2D} + X_{2E} + X_{2F} + X_{2G} + X_{2H} = 1; \\ [Mariel] \quad & X_{3A} + X_{3B} + X_{3C} + X_{3D} + X_{3E} + X_{3F} + X_{3G} + X_{3H} = 1; \\ [Susana] \quad & X_{4A} + X_{4B} + X_{4C} + X_{4D} + X_{4E} + X_{4F} + X_{4G} + X_{4H} = 1; \\ [Mayra] \quad & X_{5A} + X_{5B} + X_{5C} + X_{5D} + X_{5E} + X_{5F} + X_{5G} + X_{5H} = 1; \\ [Dora] \quad & X_{6A} + X_{6B} + X_{6C} + X_{6D} + X_{6E} + X_{6F} + X_{6G} + X_{6H} = 1; \\ [Marcos] \quad & X_{7A} + X_{7B} + X_{7C} + X_{7D} + X_{7E} + X_{7F} + X_{7G} + X_{7H} = 1; \\ [Personal] \quad & X_{8A} + X_{8B} + X_{8C} + X_{8D} + X_{8E} + X_{8F} + X_{8G} + X_{8H} = 1; \end{aligned}$$

(Un proceso debe ser realizado sólo por un personal)

$$\begin{aligned} [Engomado] \quad & X_{1A} + X_{2A} + X_{3A} + X_{4A} + X_{5A} + X_{6A} + X_{7A} + X_{8A} = 1; \\ [Troquelado] \quad & X_{1B} + X_{2B} + X_{3B} + X_{4B} + X_{5B} + X_{6B} + X_{7B} + X_{8B} = 1; \\ [Armado] \quad & X_{1C} + X_{2C} + X_{3C} + X_{4C} + X_{5C} + X_{6C} + X_{7C} + X_{8C} = 1; \\ [Forrado] \quad & X_{1D} + X_{2D} + X_{3D} + X_{4D} + X_{5D} + X_{6D} + X_{7D} + X_{8D} = 1; \\ [Empalme] \quad & X_{1E} + X_{2E} + X_{3E} + X_{4E} + X_{5E} + X_{6E} + X_{7E} + X_{8E} = 1; \end{aligned}$$

$$[Almohadilla] \quad X_{1F} + X_{2F} + X_{3F} + X_{4F} + X_{5F} + X_{6F} + X_{7F} + X_{8F} = 1;$$
$$[Tapas_Base] \quad X_{1G} + X_{2G} + X_{3G} + X_{4G} + X_{5G} + X_{6G} + X_{7G} + X_{8G} = 1;$$
$$[Estampado] \quad X_{1H} + X_{2H} + X_{3H} + X_{4H} + X_{5H} + X_{6H} + X_{7H} + X_{8H} = 1;$$

$X_{ij} \in \{0,1\}, \forall\, i, j$

El modelo de programación se corrió en el programa Lingo, como se muestra en la Figura 6, y dio como resultado la asignación que se muestra en la siguiente tabla:

**Tabla 8**

*Resultado de la Asignación del Personal al Proceso que realizará*

| Personal | Proceso |
|---|---|
| Gilberto | Troquelado |
| Yolanda | Engomado |
| Mariel | Empalme |
| Susana | Armado |
| Mayra | Forrado |
| Dora | Almohadilla |
| Marcos | Estampado |
| Personal | Tapas y Base |

Fuente: Elaboración Propia.

La solución de Lingo, planteaba que el último trabajador agregado para balancear los procesos, debía realizar el Proceso de Tapas y Base. Pero como el trabajador es ficticio, el proceso será elaborado por el personal que ejecute dicho proceso en el menor tiempo, que en este caso es el Sr. Gilberto. Esto dio un tiempo de proceso total de 1799 segundos, que son 30 minutos aproximadamente por cada estuche o caja realizada.

### 3.1.4. Construcción del modelo de secuenciación

Para modelar el problema de secuenciación, se tomó como tiempos de procesos, el resultado del problema de asignación representada mediante la Tabla 8 y la Tabla 7, ya que eran los mejores tiempos de proceso según personal.

**Tabla 9**

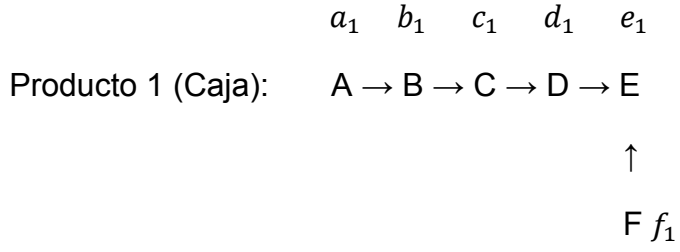
*Tiempos de Procesamiento medido en segundos*

| Proceso | Tiempo de Proceso |
|---|---|
| Engomado | 21 |
| Troquelado | 91 |
| Armado | 140 |
| Forrado | 415 |
| Empalme | 125 |
| Almohadilla | 260 |
| Estampado | 736 |
| Tapas y Base | 11 |

Fuente: Propia.

**Figura 4**

*Esquema de Precedencia de Procesos según Tipo de Producto.*



$a_2$ $b_2$ $c_2$ $d_2$ $e_2$

Producto 2 (Estuche): A → B → G → D → E

↑

F $f_2$

Fuente: Elaboración Propia.

En la Figura 4, se muestra la precedencia de los procesos, donde A es el proceso de Engomado, B es el proceso de Troquelado, C es Armado, D es Forrado, E es Empalme, F es Almohadilla, G es Estampado y H es el proceso de Tapas y Base; y sus tiempos asociados corresponden a los datos de la Tabla 9.

El modelo de programación lineal para la secuenciación:

Donde:

$$X_{ij} = \text{Tiempo medido en segundos desde el instante 0 en que se inicia el proceso j del producto i}$$

Siendo:

$i = 1(Caja), 2(Estuche)$ y

$j = A(Engomado), B(Troquelado), C(Armado), D(Forrado), E(Empalme), F(Almohadilla), G(Tapas\ y\ Base)\ y\ H(Estampado)$

Función Objetivo:

$$Min\ Z = \{X_{E1} + 125; X_{E2} + 125\}$$

Sujeto a:

Restricción respecto a la Secuencia de procesos de las cajas:

$[Proceso\ A\ precede\ B]\quad X_{A1} + 21 \leq X_{B1};$

$[Proceso\ B\ precede\ C]\quad X_{B1} + 91 \leq X_{C1};$

$[Proceso\ C\ precede\ D]\ \ X_{C1} + 140 \leq X_{D1};$
$[Proceso\ D\ precede\ E]\ \ X_{D1} + 415 \leq X_{E1};$
$[Proceso\ F\ precede\ E]\ \ X_{F1} + 260 \leq X_{E1};$

Restricción respecto a la Secuencia de procesos de los estuches:

$[Proceso\ A\ precede\ B]\ \ X_{A2} + 21 \leq X_{B2};$
$[Proceso\ B\ precede\ G]\ \ X_{B2} + 91 \leq X_{G2};$
$[Proceso\ G\ precede\ D]\ \ X_{G2} + 736 \leq X_{D2};$
$[Proceso\ D\ precede\ E]\ \ X_{D2} + 415 \leq X_{E2};$
$[Proceso\ F\ precede\ E]\ \ X_{F2} + 260 \leq X_{E2};$

Restricción respecto a la no interferencia entre productos en el proceso A:

$[Caja\ precede\ Estuche]\ \ X_{A1} + 21 - X_{A2} \leq 100000 * A;$
$[Estuche\ precede\ Caja]\ \ X_{A2} + 21 - X_{A1} \leq 100000 * (1 - A);$

Restricción respecto a la no interferencia entre productos en el proceso B:

$[Caja\ precede\ Estuche]\ \ X_{B1} + 91 - X_{B2} \leq 100000 * B;$
$[Estuche\ precede\ Caja]\ \ X_{B2} + 91 - X_{B1} \leq 100000 * (1 - B);$

Restricción respecto a la no interferencia entre productos en el proceso D:

$[Caja\ precede\ Estuche]\ \ X_{D1} + 415 - X_{D2} \leq 100000 * D;$
$[Estuche\ precede\ Caja]\ \ X_{D2} + 415 - X_{D1} \leq 100000 * (1 - D);$

Restricción respecto a la no interferencia entre productos en el proceso E:

$[Caja\ precede\ Estuche]\ \ X_{E1} + 125 - X_{E2} \leq 100000 * E;$
$[Estuche\ precede\ Caja]\ \ X_{E2} + 125 - X_{E1} \leq 100000 * (1 - E);$

Restricción respecto a la no interferencia entre productos en el proceso F:

$[Caja\ precede\ Estuche]\ \ X_{F1} + 260 - X_{F2} \leq 100000 * F;$
$[Estuche\ precede\ Caja]\ \ X_{F2} + 260 - X_{F1} \leq 100000 * (1 - F);$

$X_{ij} \in N, \forall\, i, j$

$A, B, C, D, E\ y\ F \in \{0,1\}$

**Tabla 10**

*Tiempo desde el segundo cero hasta el Inicio del Proceso*

| Tiempo de Inicio | Cajas | Estuches |
|---|---|---|
| Engomado | 21 | 0 |
| Troquelado | 112 | 21 |
| Armado | 203 | - |
| Forrado | 433 | 848 |
| Empalme | 848 | 1263 |
| Almohadilla | 260 | 0 |
| Tapas y Base | - | 112 |

Fuente: Elaboración Propia.

El resultado que obtuvo Lingo, se detalla en la Tabla 10, donde indica los tiempos de inicio de los procesos para cada producto.

Esto dio un tiempo de proceso total de 1388 segundos, lo que equivale a 23.13 minutos por cada estuche o caja realizada, que a diferencia con los resultados de la asignación que se entiende se realizaba un proceso tras otro, se redujo en casi 7 minutos la producción por producto.

### 3.1.5. Resultados

Se muestran los resultados obtenidos en el trabajo de suficiencia, el modelado del problema y la solución óptima tanto de los procesos operativos como de la asignación de personal.

En comparación con el trabajo que realiza la empresa, Estuchería Zamora no cuenta con una asignación de trabajo fija para cada empleado y tampoco realiza los procesos de acuerdo a su producción. Por ejemplo el Sr. Gilberto opera 3 procesos productivos y no necesariamente los que menor tiempo le lleva realizarlos. La empresa realiza todos los procesos en un tiempo de 1845 segundos, siete minutos más del resultado obtenido. Que en cantidades grandes, es un número considerado de pedidos que podría producir.

#### 3.1.5.1. Asignación del personal al proceso a realizar

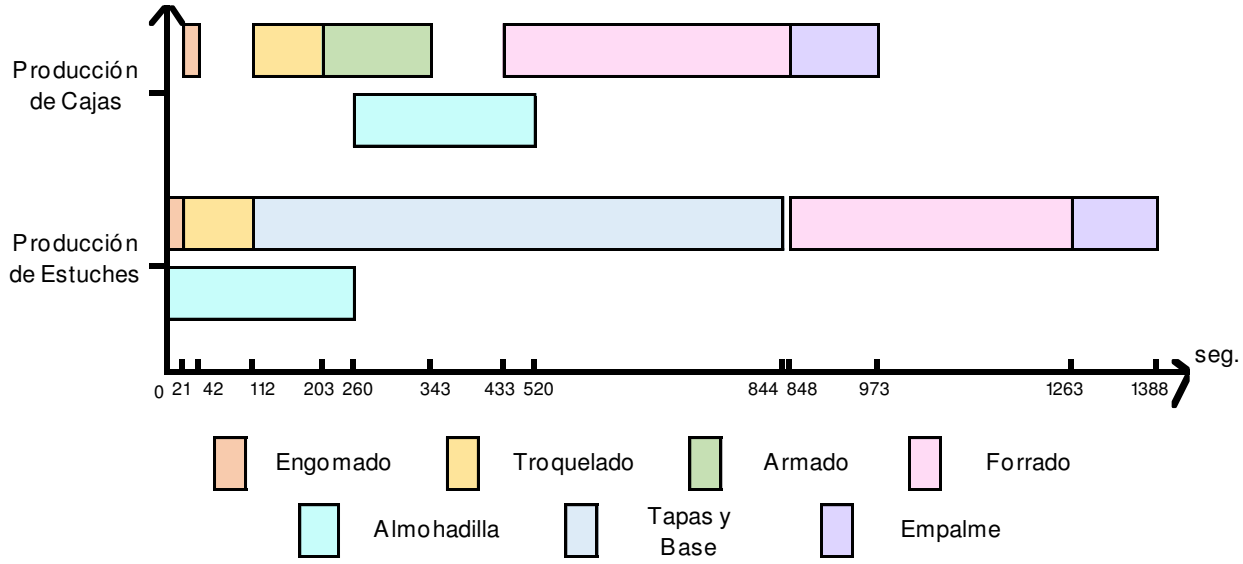
En la Tabla 8, se muestran los resultados obtenidos de la asignación. El proceso empieza con la Sra. Yolanda encargada del engomado de los cartones, seguido por el Sr. Gilberto quien va a troquelar los cartones contraplacados, la Sra. Susana armará las cajas, la Srta. Mayra Forrará tanto los estuches como las cajas, la Sra. Mariel empalmará los estuches, la Sra. Dora se encargará de las almohadillas de todos los pedidos y el Sr. Marcos de estamparlos.

#### 3.1.5.2. Secuenciación de Procesos

En la Figura 5, se presentan los resultados obtenidos de la secuenciación, la cual empieza en el tiempo 0 con los procesos de engomado y almohadilla para el estuche, seguido por el troquelado del cartón para los estuches y empieza el engomado para el cartón de la caja. Casi a los 2 minutos se empieza con la Tapa y Base del estuche junto con el troquelado para las cajas. Pasado los 3 minutos se arma la caja y pasados los 4 minutos se hace su almohadilla. Luego en los 7 minutos de iniciado el proceso, se forra la caja y al término de ella se forra el estuche y empalma la caja. A los 231 minutos de iniciado el trabajo se termina con el empalme del estuche.

**Figura 5**

*Solución de la secuenciación de Procesos según Tipo de Producto.*




Fuente: Elaboración Propia.

El proceso de las almohadillas se puede realizar en paralelo con el Engomado, Troquelado, Armado, Forrado y el proceso de Tapas y Base, ya que solo es prerrequisito para el proceso final de Empalme.

## CONCLUSIONES

- Se pudo mostrar que la secuenciación de procesos y la asignación de tareas influía considerablemente en el tiempo de terminación en la elaboración de los pedidos, ya que la empresa realizaba todos los procesos en un tiempo de 30.7 minutos por cada escuche o caja, que son 7.6 minutos más del resultado obtenido mediante la Programación Lineal Entera. Que en cantidades grandes de producción mensual (500 docenas) es aproximadamente 1 mes adicional, por lo cual la solución obtenida hizo óptimo el trabajo de la empresa.

- Se dio una asignación óptima al personal para la realización de las tareas y así minimizar el tiempo de producción. Debido a que si sólo se aplica Programación Lineal Entera en la asignación de personal, se reduce en 46 segundos el tiempo total de producción, que en masa, se reduciría más de tres días.

- Se programó la secuencia que debía seguir los procesos de trabajo, teniendo en cuenta que sólo un personal realizaba cada proceso y no podía trabajarse en paralelo dos procesos iguales para cada producto.

- Se redujo el tiempo total de producción tanto de las cajas como de los estuches.

# RECOMENDACIONES

- Se recomienda que se considere el trabajo actual de la empresa, que es realizar los procesos por bloques grandes y programarlos de esa manera mediante el modelo de Programación Entera Mixta, y así obtener resultados reales en la secuenciación.
- Tener en cuenta que el tiempo del proceso de Estampado cambió, ya que en el mes de agosto la empresa adquirió una nueva estampadora automática, que estampa una pana por segundo; por lo que ya no se consideraría personal para su trabajo.

# REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS


Avila Herrera, J. F. (1997). Asignación óptima de recursos. *Teoría y aplicaciones, 4*(2), 75-84.

Calafell Castello, A. (mayo-agosto de 1972). Teoría lineal de la asignación óptima de los recursos financieros en los entes públicos. *Revista Española de Financiación y Contabilidad, 1*(2), 297-314.

Carrasco Díaz, F. (2016). Modelado y resolución de problemas de secuenciación de tareas. Aplicación a una empresa de fabricación de electrodos.

Conway, R. W., Maxwell, W. L., & Miller, L. W. (1967). *Theory of Scheduling.* Dover Publications, Inc.

Di Mattia Castro, G. (2014). Diseño de un modelo matemático para la asignación de personal a múltiples trabajos de mantenimiento de una Institución Púbica.

Eyzaguirre Tejada, R. (1999). Problema de determinación del orden de ejecución de n trabajos en m máquinas donde cada trabajo tiene una secuencia de proceso diferente. *Industrial Data*, 2(2), 44–47.

Flores Espinoza (2017). La sistematización del proceso de asignación de personal con el fin de implementar las especialidades funcionales dentro de la Policía Nacional del Perú.

Hillier, F. S., & Lieberman, G. J. (2010). *Introduction to Operations Research* (9na ed.). McGRAW-HILL.

Pérez Becerra, J. A. (2006). Modelo de asignación aplicado a la manufactura en una cadena de abastecimientos. Lima, Perú.

Pinedo, M. L. (2008). *Scheduling Theory, Algorithms, and Systems* (Third Edition ed.). Prentice Hall.

Soriano Palomo (2014). Modelos de Programación Lineal para dos problemas de secuenciación con varios conjuntos de trabajos.

Tejada Muñoz (2017). Enrutamiento y secuenciación óptimos en un flexible Job Shop multiobjetivo mediante algoritmos genéticos.

Taha, H. A. (2012). *Investigación de Operaciones* (9na ed.).

Sepúlveda Gutiérrez, P. (2013). Diseño de un modelo de optimización para la asignación de personal en una consultora.

Winston, W. L. (1991). *Investigación de Operaciones Aplicaciones y algoritmos* (4ta ed.).

# ANEXOS

**Tabla 11**

*Ficha de Duración de los Procesos*

| Trabajador | Producto | Proceso | T. Inicio | T. Final | T. Procesamiento |
|---|---|---|---|---|---|

Fuente: Elaboración Propia

**Tabla 12**

*Información para el Llenado del Personal*

| | Personal |
|---|---|
| 1 | Gilberto |
| 2 | Yolanda |
| 3 | Mariel |
| 4 | Susana |
| 5 | Mayra |
| 6 | Dora |
| 7 | Marcos |

Fuente: Elaboración Propia

**Tabla 13**

*Información para el Llenado del Producto*

| | Producto |
|---|---|
| C | Caja |
| E | Estuche |

Fuente: Elaboración Propia

**Tabla 14**

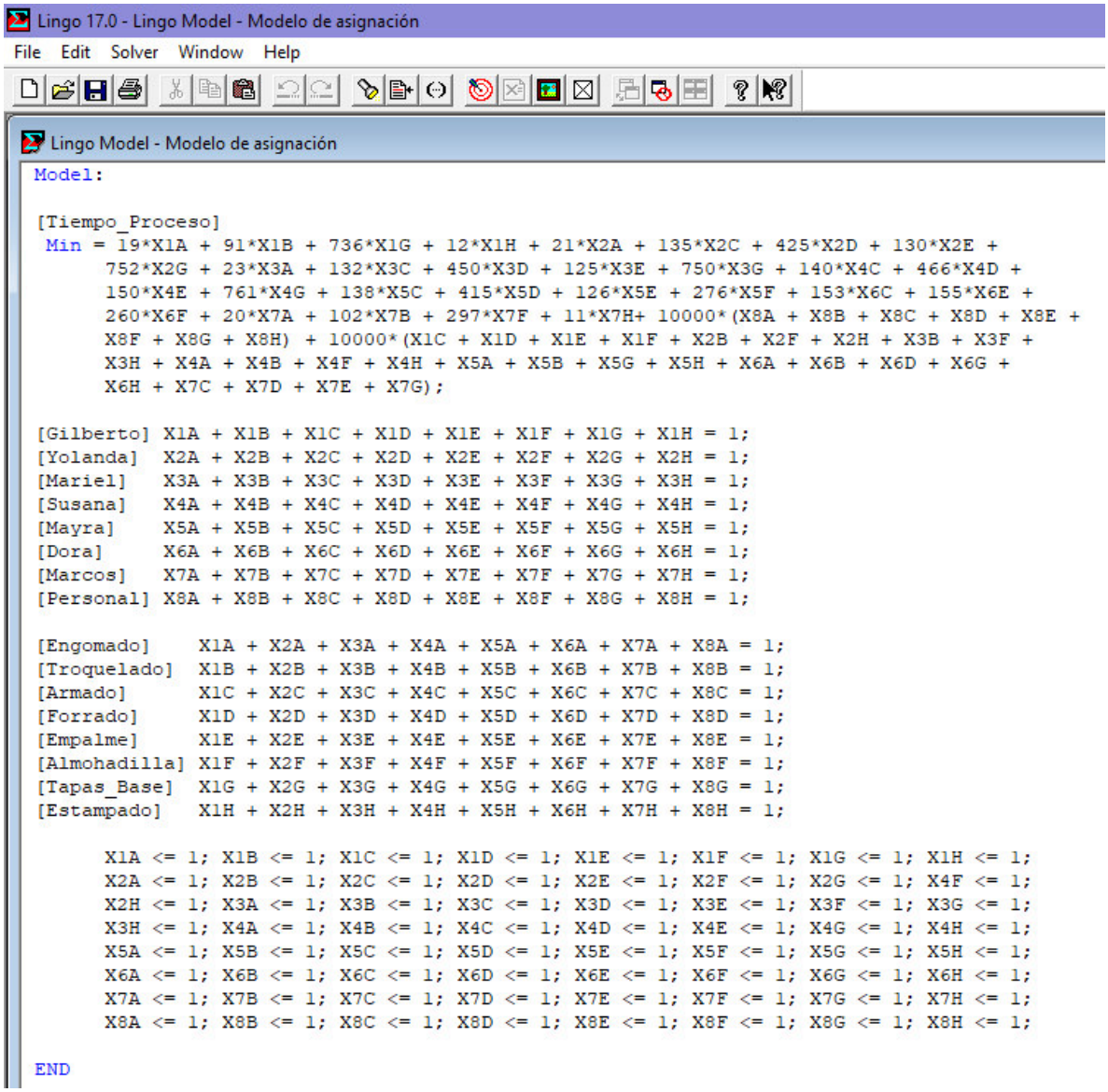
*Información para el Llenado del Proceso*

| | Proceso |
|---|---|
| A | Engomado |
| B | Troquelado |
| C | Armado |
| D | Forrado |
| E | Empalme |
| F | Almohadilla |
| G | Tapas y Base |
| H | Estampado |

Fuente: Elaboración Propia

**Figura 6**

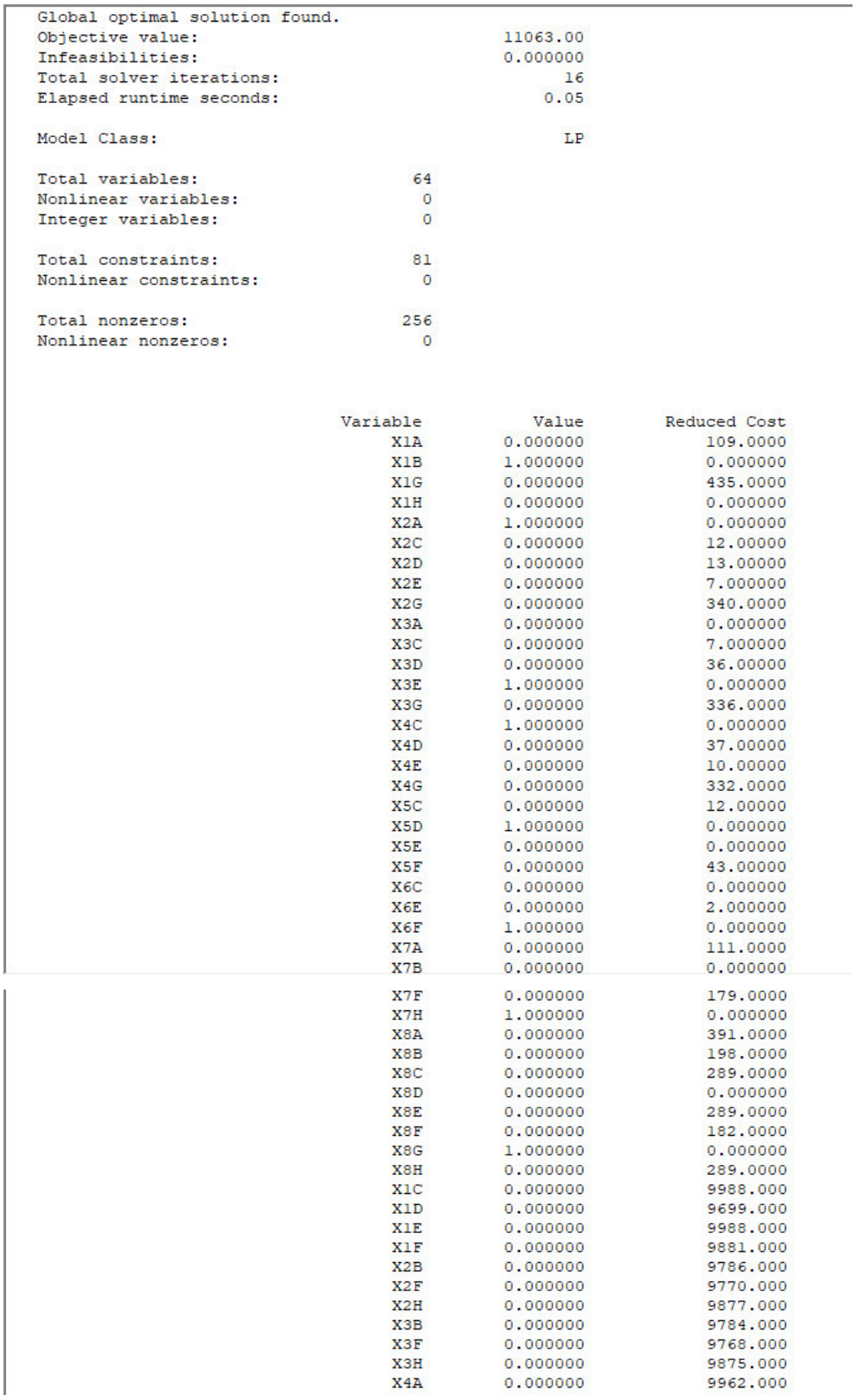
*Modelo de Programación en LINGO para la Asignación del Personal a Proceso*




Fuente: Elaboración Propia

**Figura 7**

*Resultado en LINGO para la Asignación del Personal a Proceso*

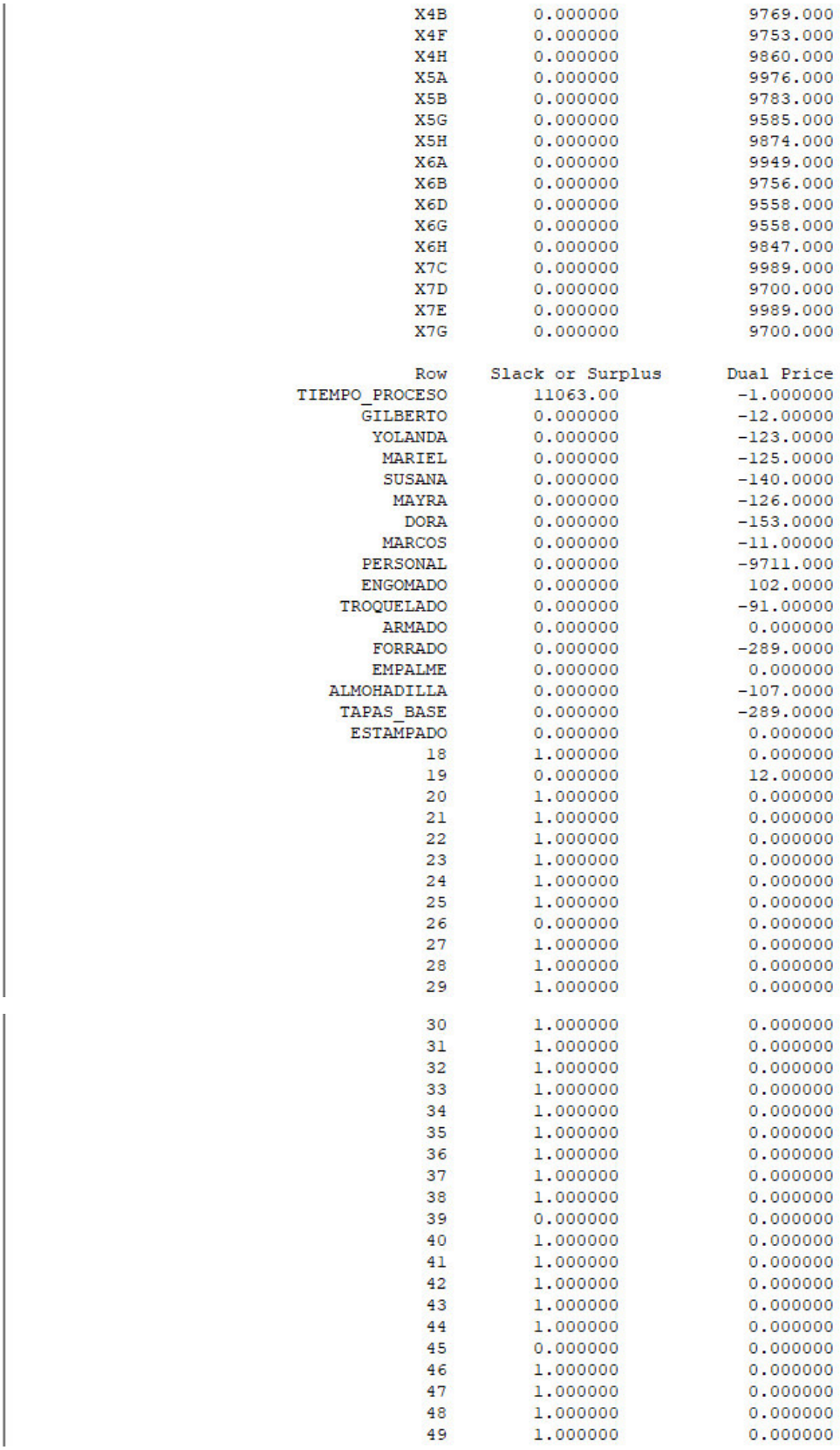


```
Global optimal solution found.
Objective value:                              11063.00
Infeasibilities:                              0.000000
Total solver iterations:                            16
Elapsed runtime seconds:                          0.05

Model Class:                                        LP

Total variables:                   64
Nonlinear variables:                0
Integer variables:                  0

Total constraints:                 81
Nonlinear constraints:              0

Total nonzeros:                   256
Nonlinear nonzeros:                 0


                     Variable           Value        Reduced Cost
                          X1A        0.000000            109.0000
                          X1B        1.000000            0.000000
                          X1G        0.000000            435.0000
                          X1H        0.000000            0.000000
                          X2A        1.000000            0.000000
                          X2C        0.000000            12.00000
                          X2D        0.000000            13.00000
                          X2E        0.000000            7.000000
                          X2G        0.000000            340.0000
                          X3A        0.000000            0.000000
                          X3C        0.000000            7.000000
                          X3D        0.000000            36.00000
                          X3E        1.000000            0.000000
                          X3G        0.000000            336.0000
                          X4C        1.000000            0.000000
                          X4D        0.000000            37.00000
                          X4E        0.000000            10.00000
                          X4G        0.000000            332.0000
                          X5C        0.000000            12.00000
                          X5D        1.000000            0.000000
                          X5E        0.000000            0.000000
                          X5F        0.000000            43.00000
                          X6C        0.000000            0.000000
                          X6E        0.000000            2.000000
                          X6F        1.000000            0.000000
                          X7A        0.000000            111.0000
                          X7B        0.000000            0.000000
                          X7F        0.000000            179.0000
                          X7H        1.000000            0.000000
                          X8A        0.000000            391.0000
                          X8B        0.000000            198.0000
                          X8C        0.000000            289.0000
                          X8D        0.000000            0.000000
                          X8E        0.000000            289.0000
                          X8F        0.000000            182.0000
                          X8G        1.000000            0.000000
                          X8H        0.000000            289.0000
                          X1C        0.000000            9988.000
                          X1D        0.000000            9699.000
                          X1E        0.000000            9988.000
                          X1F        0.000000            9881.000
                          X2B        0.000000            9786.000
                          X2F        0.000000            9770.000
                          X2H        0.000000            9877.000
                          X3B        0.000000            9784.000
                          X3F        0.000000            9768.000
                          X3H        0.000000            9875.000
                          X4A        0.000000            9962.000
```

Fuente: LINGO.

**Figura 8**

*Resultado en LINGO para la Asignación del Personal a Proceso – Continuación*



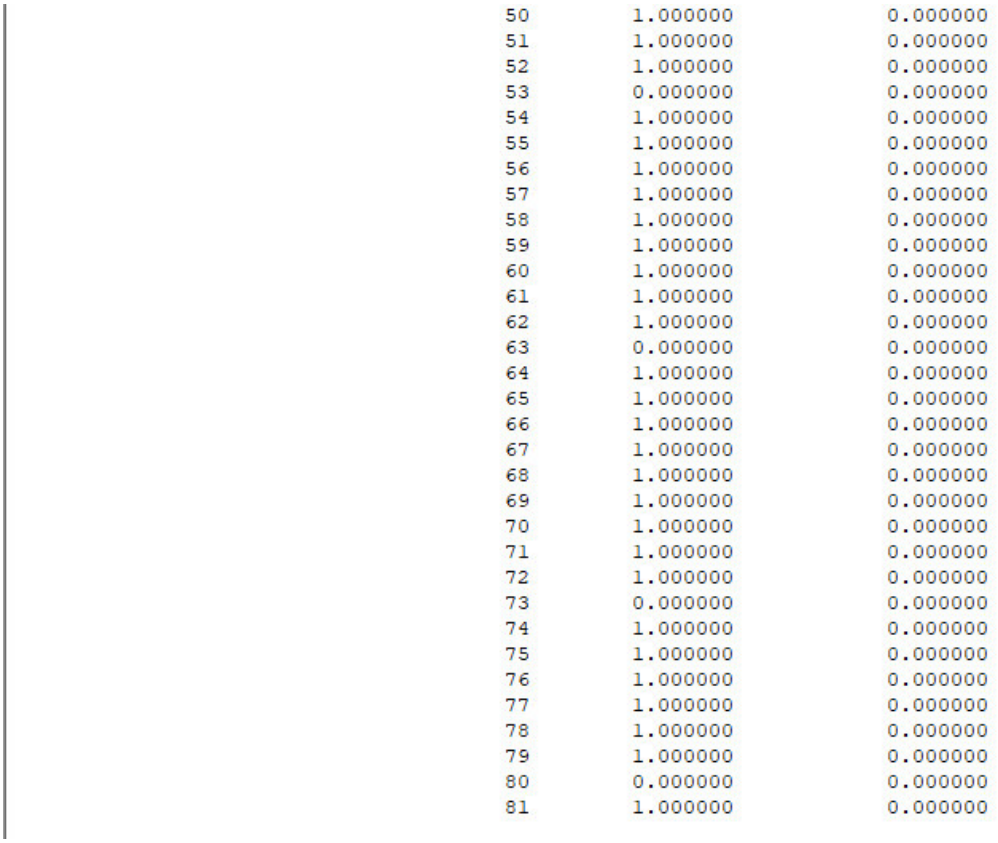
| | | |
|---|---|---|
| X4B | 0.000000 | 9769.000 |
| X4F | 0.000000 | 9753.000 |
| X4H | 0.000000 | 9860.000 |
| X5A | 0.000000 | 9976.000 |
| X5B | 0.000000 | 9783.000 |
| X5G | 0.000000 | 9585.000 |
| X5H | 0.000000 | 9874.000 |
| X6A | 0.000000 | 9949.000 |
| X6B | 0.000000 | 9756.000 |
| X6D | 0.000000 | 9558.000 |
| X6G | 0.000000 | 9558.000 |
| X6H | 0.000000 | 9847.000 |
| X7C | 0.000000 | 9989.000 |
| X7D | 0.000000 | 9700.000 |
| X7E | 0.000000 | 9989.000 |
| X7G | 0.000000 | 9700.000 |

| Row | Slack or Surplus | Dual Price |
|---|---|---|
| TIEMPO_PROCESO | 11063.00 | -1.000000 |
| GILBERTO | 0.000000 | -12.00000 |
| YOLANDA | 0.000000 | -123.0000 |
| MARIEL | 0.000000 | -125.0000 |
| SUSANA | 0.000000 | -140.0000 |
| MAYRA | 0.000000 | -126.0000 |
| DORA | 0.000000 | -153.0000 |
| MARCOS | 0.000000 | -11.00000 |
| PERSONAL | 0.000000 | -9711.000 |
| ENGOMADO | 0.000000 | 102.0000 |
| TROQUELADO | 0.000000 | -91.00000 |
| ARMADO | 0.000000 | 0.000000 |
| FORRADO | 0.000000 | -289.0000 |
| EMPALME | 0.000000 | 0.000000 |
| ALMOHADILLA | 0.000000 | -107.0000 |
| TAPAS_BASE | 0.000000 | -289.0000 |
| ESTAMPADO | 0.000000 | 0.000000 |
| 18 | 1.000000 | 0.000000 |
| 19 | 0.000000 | 12.00000 |
| 20 | 1.000000 | 0.000000 |
| 21 | 1.000000 | 0.000000 |
| 22 | 1.000000 | 0.000000 |
| 23 | 1.000000 | 0.000000 |
| 24 | 1.000000 | 0.000000 |
| 25 | 1.000000 | 0.000000 |
| 26 | 0.000000 | 0.000000 |
| 27 | 1.000000 | 0.000000 |
| 28 | 1.000000 | 0.000000 |
| 29 | 1.000000 | 0.000000 |
| 30 | 1.000000 | 0.000000 |
| 31 | 1.000000 | 0.000000 |
| 32 | 1.000000 | 0.000000 |
| 33 | 1.000000 | 0.000000 |
| 34 | 1.000000 | 0.000000 |
| 35 | 1.000000 | 0.000000 |
| 36 | 1.000000 | 0.000000 |
| 37 | 1.000000 | 0.000000 |
| 38 | 1.000000 | 0.000000 |
| 39 | 0.000000 | 0.000000 |
| 40 | 1.000000 | 0.000000 |
| 41 | 1.000000 | 0.000000 |
| 42 | 1.000000 | 0.000000 |
| 43 | 1.000000 | 0.000000 |
| 44 | 1.000000 | 0.000000 |
| 45 | 0.000000 | 0.000000 |
| 46 | 1.000000 | 0.000000 |
| 47 | 1.000000 | 0.000000 |
| 48 | 1.000000 | 0.000000 |
| 49 | 1.000000 | 0.000000 |

Fuente: LINGO.

**Figura 9**

*Resultado en LINGO para la Asignación del Personal a Proceso – Continuación*

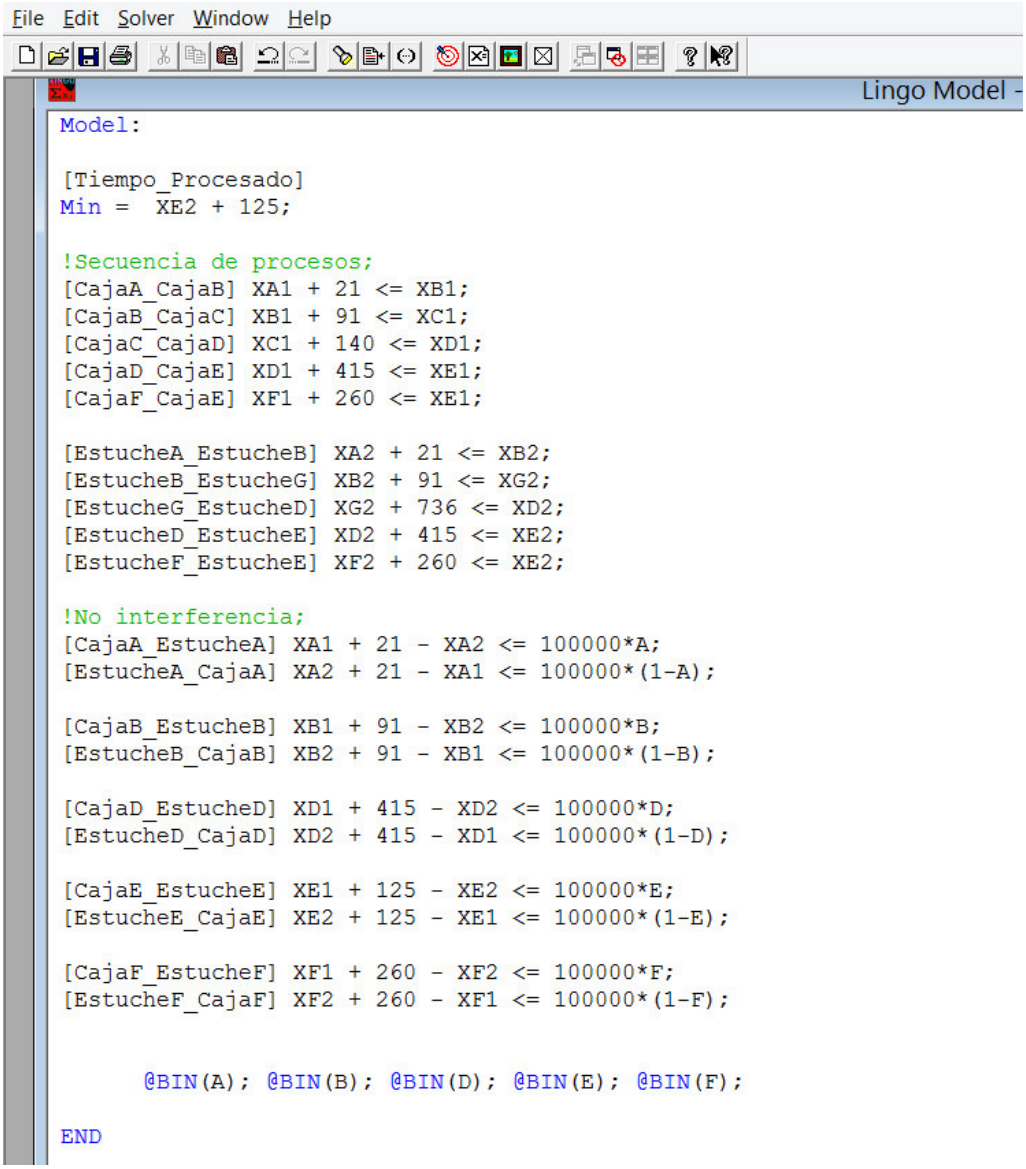


| | | |
|---|---|---|
| 50 | 1.000000 | 0.000000 |
| 51 | 1.000000 | 0.000000 |
| 52 | 1.000000 | 0.000000 |
| 53 | 0.000000 | 0.000000 |
| 54 | 1.000000 | 0.000000 |
| 55 | 1.000000 | 0.000000 |
| 56 | 1.000000 | 0.000000 |
| 57 | 1.000000 | 0.000000 |
| 58 | 1.000000 | 0.000000 |
| 59 | 1.000000 | 0.000000 |
| 60 | 1.000000 | 0.000000 |
| 61 | 1.000000 | 0.000000 |
| 62 | 1.000000 | 0.000000 |
| 63 | 0.000000 | 0.000000 |
| 64 | 1.000000 | 0.000000 |
| 65 | 1.000000 | 0.000000 |
| 66 | 1.000000 | 0.000000 |
| 67 | 1.000000 | 0.000000 |
| 68 | 1.000000 | 0.000000 |
| 69 | 1.000000 | 0.000000 |
| 70 | 1.000000 | 0.000000 |
| 71 | 1.000000 | 0.000000 |
| 72 | 1.000000 | 0.000000 |
| 73 | 0.000000 | 0.000000 |
| 74 | 1.000000 | 0.000000 |
| 75 | 1.000000 | 0.000000 |
| 76 | 1.000000 | 0.000000 |
| 77 | 1.000000 | 0.000000 |
| 78 | 1.000000 | 0.000000 |
| 79 | 1.000000 | 0.000000 |
| 80 | 0.000000 | 0.000000 |
| 81 | 1.000000 | 0.000000 |

Fuente: LINGO.

**Figura 10**

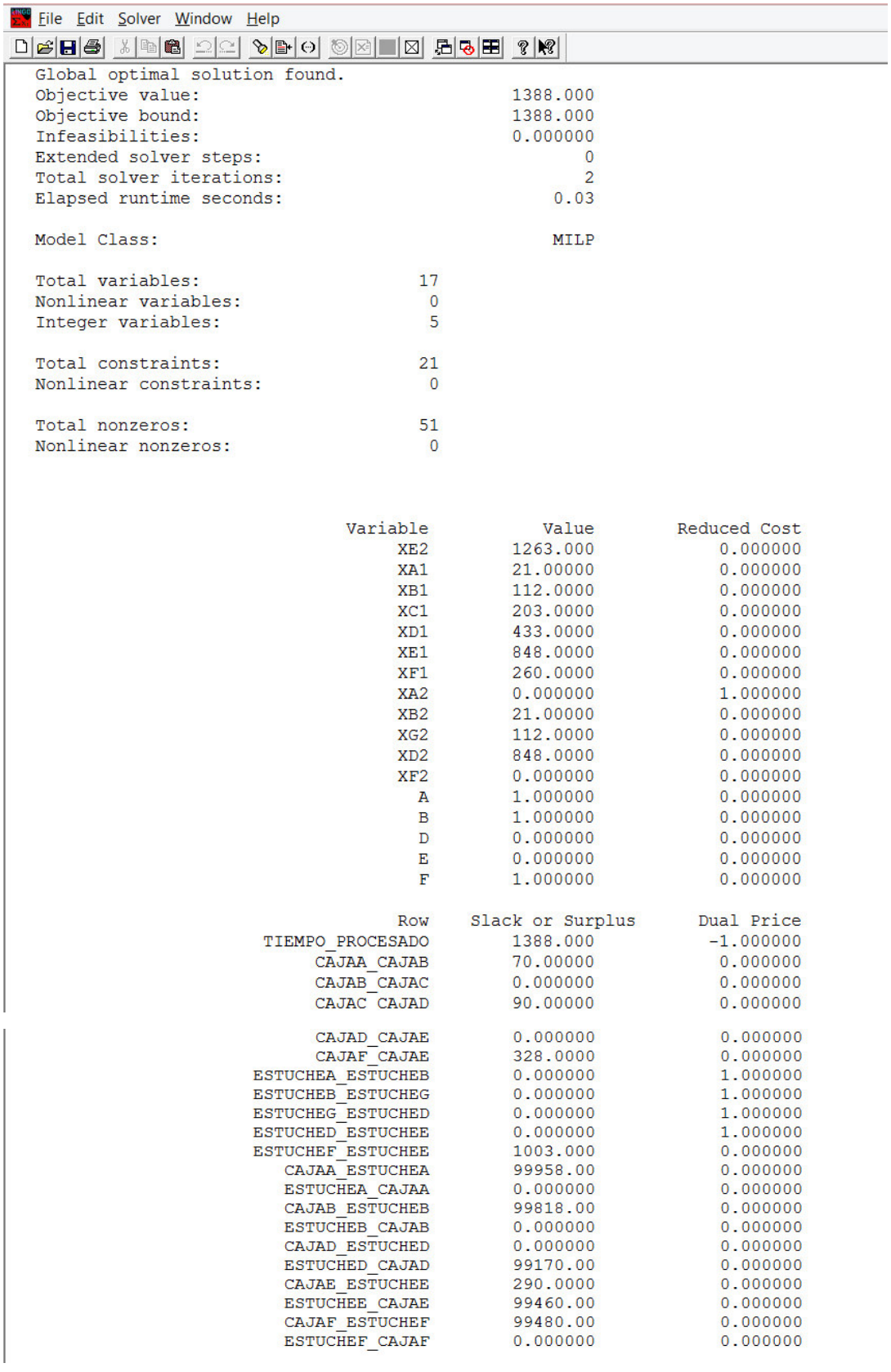
*Modelo de Programación en LINGO para la Secuenciación de Procesos*




Fuente: Elaboración Propia.

**Figura 11**

*Resultado en LINGO para la Secuenciación de Procesos*



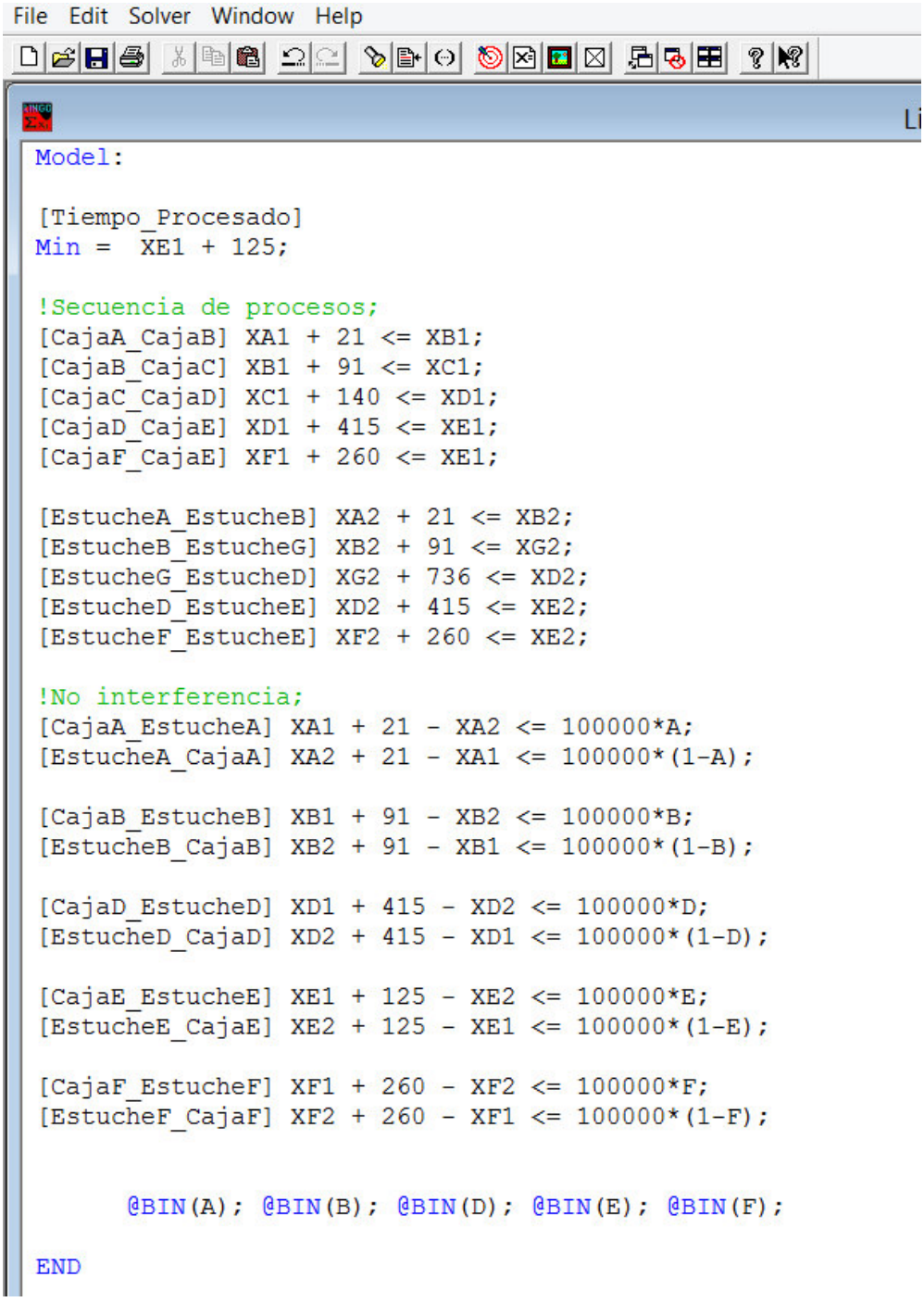
File Edit Solver Window Help

```
  Global optimal solution found.
  Objective value:                              1388.000
  Objective bound:                              1388.000
  Infeasibilities:                              0.000000
  Extended solver steps:                               0
  Total solver iterations:                             2
  Elapsed runtime seconds:                          0.03

  Model Class:                                      MILP

  Total variables:                    17
  Nonlinear variables:                 0
  Integer variables:                   5

  Total constraints:                  21
  Nonlinear constraints:               0

  Total nonzeros:                     51
  Nonlinear nonzeros:                  0


                       Variable           Value        Reduced Cost
                            XE2        1263.000            0.000000
                            XA1        21.00000            0.000000
                            XB1        112.0000            0.000000
                            XC1        203.0000            0.000000
                            XD1        433.0000            0.000000
                            XE1        848.0000            0.000000
                            XF1        260.0000            0.000000
                            XA2        0.000000            1.000000
                            XB2        21.00000            0.000000
                            XG2        112.0000            0.000000
                            XD2        848.0000            0.000000
                            XF2        0.000000            0.000000
                              A        1.000000            0.000000
                              B        1.000000            0.000000
                              D        0.000000            0.000000
                              E        0.000000            0.000000
                              F        1.000000            0.000000

                            Row    Slack or Surplus      Dual Price
                 TIEMPO_PROCESADO        1388.000           -1.000000
                      CAJAA_CAJAB        70.00000            0.000000
                      CAJAB_CAJAC        0.000000            0.000000
                      CAJAC_CAJAD        90.00000            0.000000

                      CAJAD_CAJAE        0.000000            0.000000
                      CAJAF_CAJAE        328.0000            0.000000
                ESTUCHEA_ESTUCHEB        0.000000            1.000000
                ESTUCHEB_ESTUCHEG        0.000000            1.000000
                ESTUCHEG_ESTUCHED        0.000000            1.000000
                ESTUCHED_ESTUCHEE        0.000000            1.000000
                ESTUCHEF_ESTUCHEE        1003.000            0.000000
                   CAJAA_ESTUCHEA        99958.00            0.000000
                   ESTUCHEA_CAJAA        0.000000            0.000000
                   CAJAB_ESTUCHEB        99818.00            0.000000
                   ESTUCHEB_CAJAB        0.000000            0.000000
                   CAJAD_ESTUCHED        0.000000            0.000000
                   ESTUCHED_CAJAD        99170.00            0.000000
                   CAJAE_ESTUCHEE        290.0000            0.000000
                   ESTUCHEE_CAJAE        99460.00            0.000000
                   CAJAF_ESTUCHEF        99480.00            0.000000
                   ESTUCHEF_CAJAF        0.000000            0.000000
```

Fuente: LINGO.

**Figura 12**

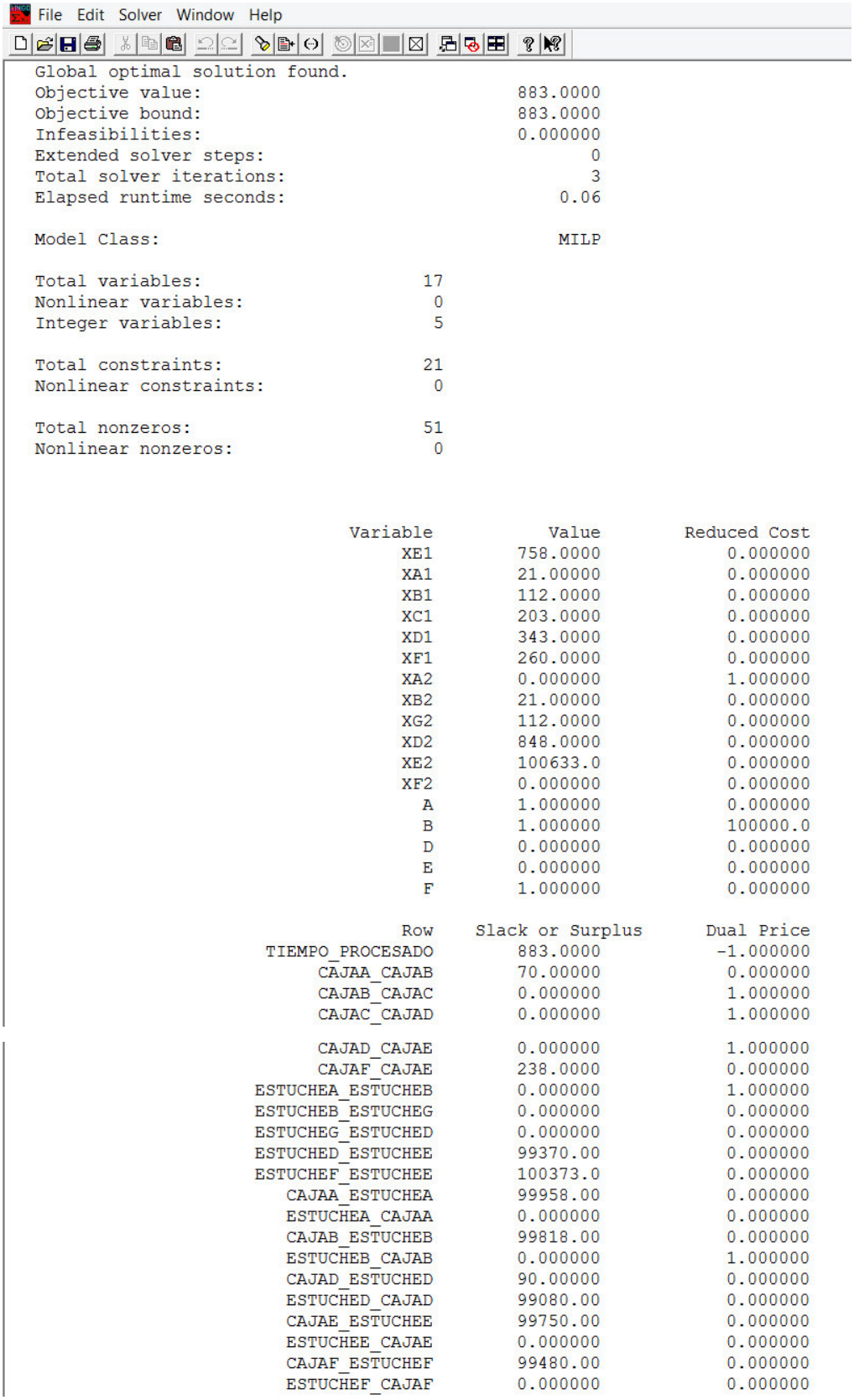
*Modelo de Programación en LINGO para la Secuenciación de Procesos*




Fuente: Elaboración Propia.

**Figura 13**

*Resultado en LINGO para la Secuenciación de Procesos*




Fuente: LINGO.

**Tabla 15**

*Producción de Almohadillas*

| Trabajador | Producto | Proceso | T. Inicio | T. Final | T. Procesamiento |
|---|---|---|---|---|---|
| 5 | E / C | F | 15:00:01 | 15:04:10 | 0:04:09 |
| 5 | E / C | F | 15:04:10 | 15:08:08 | 0:03:58 |
| 5 | E / C | F | 15:08:08 | 15:12:13 | 0:04:05 |
| 5 | E / C | F | 15:12:13 | 15:16:15 | 0:04:02 |
| 5 | E / C | F | 15:16:15 | 15:20:14 | 0:03:59 |
| 5 | E / C | F | 15:20:14 | 15:24:15 | 0:04:01 |
| 5 | E / C | F | 15:24:15 | 15:28:21 | 0:04:06 |
| 5 | E / C | F | 15:28:21 | 15:32:36 | 0:04:15 |
| 5 | E / C | F | 15:32:36 | 15:36:56 | 0:04:20 |
| 5 | E / C | F | 15:36:56 | 15:41:04 | 0:04:08 |
| 5 | E / C | F | 15:41:04 | 15:45:20 | 0:04:16 |
| 5 | E / C | F | 15:45:20 | 15:49:29 | 0:04:09 |
| 5 | E / C | F | 15:49:29 | 15:53:31 | 0:04:02 |
| 5 | E / C | F | 15:53:31 | 15:57:39 | 0:04:08 |
| 5 | E / C | F | 15:57:39 | 16:01:54 | 0:04:15 |
| 5 | E / C | F | 16:01:54 | 16:06:07 | 0:04:13 |
| 5 | E / C | F | 16:06:07 | 16:10:14 | 0:04:07 |
| 5 | E / C | F | 16:10:14 | 16:14:15 | 0:04:01 |
| 5 | E / C | F | 16:14:15 | 16:18:10 | 0:03:55 |
| 5 | E / C | F | 16:18:10 | 16:22:24 | 0:04:14 |
| 5 | E / C | F | 16:22:24 | 16:26:28 | 0:04:04 |
| 5 | E / C | F | 16:26:28 | 16:30:22 | 0:03:54 |
| 5 | E / C | F | 16:30:22 | 16:34:33 | 0:04:11 |
| 5 | E / C | F | 16:34:33 | 16:39:01 | 0:04:28 |
| 5 | E / C | F | 16:39:01 | 16:43:13 | 0:04:12 |
| 5 | E / C | F | 16:43:13 | 16:47:26 | 0:04:13 |
| 5 | E / C | F | 16:47:26 | 16:51:33 | 0:04:07 |
| 5 | E / C | F | 16:51:33 | 16:55:42 | 0:04:09 |
| 5 | E / C | F | 16:55:42 | 16:59:58 | 0:04:16 |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 5 | E / C | F | 16:59:58 | 17:04:11 | 0:04:13 |
| 5 | E / C | F | 17:04:11 | 17:08:19 | 0:04:08 |
| 5 | E / C | F | 17:08:19 | 17:12:32 | 0:04:13 |
| 5 | E / C | F | 17:12:32 | 17:16:31 | 0:03:59 |
| 5 | E / C | F | 17:16:31 | 17:20:40 | 0:04:09 |
| 5 | E / C | F | 17:20:40 | 17:24:57 | 0:04:17 |
| 5 | E / C | F | 17:24:57 | 17:29:02 | 0:04:05 |
| 5 | E / C | F | 17:29:02 | 17:33:01 | 0:03:59 |
| 5 | E / C | F | 17:33:01 | 17:37:17 | 0:04:16 |
| 5 | E / C | F | 17:37:17 | 17:41:40 | 0:04:23 |
| 5 | E / C | F | 17:41:40 | 17:45:44 | 0:04:04 |
| 5 | E / C | F | 17:45:44 | 17:49:51 | 0:04:07 |
| 5 | E / C | F | 17:49:51 | 17:54:01 | 0:04:10 |
| 5 | E / C | F | 17:54:01 | 17:58:14 | 0:04:13 |
| 5 | E / C | F | 17:58:14 | 18:02:30 | 0:04:16 |
| 5 | E / C | F | 18:02:30 | 18:06:49 | 0:04:19 |
| 5 | E / C | F | 18:06:49 | 18:11:11 | 0:04:22 |
| 5 | E / C | F | 18:11:11 | 18:15:36 | 0:04:25 |
| 5 | E / C | F | 18:15:36 | 18:19:54 | 0:04:18 |
| 5 | E / C | F | 18:19:54 | 18:24:25 | 0:04:31 |
| 5 | E / C | F | 18:24:25 | 18:28:59 | 0:04:34 |

*Fuente: Elaboración Propia*