

# Modelo matemático para la Optimización de la capacidad de maquinaria y mano de obra: Modelo Job Shop Scheduling Problem (JSSP)

Margareth Camacho, Mgter.<sup>1</sup>, Yadira L. Velastegui, Mgter.<sup>2</sup>, Kleber F. Barcia, Ph.D.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Universidad Estatal de Guayaquil, Ecuador, [margareth.camachoa@ug.edu.ec](mailto:margareth.camachoa@ug.edu.ec)

<sup>2</sup>Escuela Superior Politécnica del Litoral, ESPOL, Ecuador, [yvelastegui@gmail.com](mailto:yvelastegui@gmail.com)

<sup>3</sup>Escuela Superior Politécnica del Litoral, ESPOL, Ecuador, [kbarcia@espol.edu.ec](mailto:kbarcia@espol.edu.ec)

**Abstract** – *Planning establishes a path that will serve to develop something: an activity, a job, or a project. Considering the limitations that may affect its development, doing it efficiently allows us to make the correct decisions so that the execution of the plan is successful. This research work seeks to develop an adequate tool by using the mathematical model JSSP (Job Shop Scheduling Problem) to plan the production and labour of a manufacturing company. The company has different machines to develop a diverse portfolio of products and only one staff template to operate this equipment, considering that the demand for the products often does not require all the working days of the month. Something that happens very often is that there are days of the month when the workforce is not enough to comply with the production plan and other days in which that same workforce does not have assigned work. This project's main objective is to optimize the production plan by maximizing productivity and minimizing costs in the area with the most significant weight in manufacturing a product: its direct labor. In this way, the company can maintain its operating expenses and be more competitive.*

**Keywords** – JSSP, optimization, direct labor.

**Resumen** – *Planificar es establecer un camino que servirá para desarrollar algo: una actividad, un trabajo o un proyecto. Hacerlo de manera eficiente, considerando las limitaciones que pueden afectar su desarrollo, permite tomar las decisiones correctas para que la ejecución del plan sea exitosa. El presente trabajo de investigación busca desarrollar una herramienta adecuada mediante la utilización del modelo matemático JSSP (Job Shop Scheduling Problem) para planificar la producción y la mano de obra de una empresa manufacturera. La empresa cuenta con diferentes máquinas para elaborar un diverso portafolio de productos y una misma plantilla de personal para operar estos equipos, considerando que la demanda de los productos muchas veces no requiere de todos los días laborables del mes. Por lo que sucede muy a menudo que hay días en el mes que no alcanza la plantilla de mano de obra para cumplir con el plan de producción y otros días en que esa misma plantilla no tiene trabajo asignado. El objetivo principal de este proyecto es la optimización del plan de producción a través de maximizar la productividad y minimizar los costos en el rubro de mayor peso en la fabricación de un producto: su mano de obra directa. De esta manera la empresa podrá mantener sus costos operativos y ser más competitiva en el mercado.*

**Palabras claves** - JSSP, optimización, mano de obra directa.

**Digital Object Identifier (DOI):**

<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2022.1.1.91>

**ISBN:** 978-628-95207-0-5 **ISSN:** 2414-6390

## I. INTRODUCTION

El siglo XXI se ha caracterizado por el avance de la tecnología y su expansión a nivel mundial, esta globalización conduce a las industrias a ser más competitivas y buscar formas de mejorar su productividad y rentabilidad con el uso mínimo de recursos. Esto obliga a las empresas a reducir sus costos, principalmente en mano de obra operativa pues siempre es el componente más costoso. Sin embargo, disminuir el número de empleados impacta directamente en la capacidad de producción, lo cual limita la cantidad de producto terminado disponible y se convierte en una pérdida irreparable no sólo de ventas sino también de clientes. Esta reducción de costos debe balancearse al mismo tiempo con la diversificación de productos y la inversión en maquinaria nueva para maximizar la productividad. Por lo que se convierte en una misión difícil de cumplir al intentar equilibrar la reducción de los costos de producción con las inversiones por innovación u optimización. Para lograrlo, muchas empresas han empezado a hacer uso de la administración de operaciones y de las herramientas que la ciencia ofrece para optimizar sus procesos como planificación de producción, la planificación de requerimientos de materiales, la planificación de las capacidades de producción, la planificación de la mano de obra, la asignación de recursos y la secuenciación de producción [1].

Entre los recursos con que cuenta una empresa para su proceso productivo se incluye la materia prima, la maquinaria disponible, el terreno o los espacios con que cuenta, los recursos humanos, los recursos financieros, incluso hay quienes incluyen a la tecnología de la información como un recurso más. A este conjunto de recursos los economistas usualmente denominan los factores de producción [2]. Es práctica común que las empresas quieran minimizar los costos asociados al proceso productivo, el enfoque que usualmente se maneja es el de abaratar los costos de adquisición de la materia prima, tal vez en la forma de cambio de proveedores lo que implica a su vez el reemplazo de la materia prima adquirida, recortes de personal, etc., sin embargo, esto muchas veces puede ser desfavorable para la calidad del producto o servicio ofrecido a los clientes [3], [4].

Existen varios aspectos que se podrían tratar respecto a la minimización de los costos operacionales. El presente artículo

se enfoca en la asignación de mano obra especializada. La asignación del recurso humano en las cantidades adecuadas es importante para poder cumplir con las expectativas de producción. Actualmente, la asignación de recurso humano muchas veces sucede sin tomar alguna medida que justifique el requerimiento, basado en experiencias pasadas, lo que muchas veces genera problemas dentro de la planta en los procesos de producción, pues se puede presentar un exceso o escasez de mano de obra [5].

**A. Objetivo General**

Diseñar un modelo de optimización de la productividad en base al mejoramiento de la capacidad de producción de la maquinaria y mano de obra en una planta envasadora de aceite y grasas de consumo alimenticio, utilizando modelos matemáticos de programación entera mixta que permita el uso eficiente de los recursos, disminuyendo los costos asociados a este proceso.

**B. Descripción del Proceso de Producción de la Empresa Envasadora**

La empresa tiene casi un siglo en el mercado ecuatoriano, elaborando velas, jabones, mantecas, margarinas y aceites comestibles a partir de la semilla de palma, algodón, palmiste, soya, canola y girasol, todos sus productos son hechos con excelente calidad para el bienestar de sus consumidores, ese es su eslogan. Por lo que, a lo largo de los años ha diversificado su portafolio de productos, incrementando sus equipos, su capacidad de producción, maquinarias y recursos necesarios para producirlos. Actualmente cuenta con 7 equipos o líneas de envasado de aceites, mantecas y margarinas, cada línea de llenado cuenta con sus máquinas envasadoras y una plantilla de personal asignado para su funcionamiento, como se detalla en la tabla 1.

TABLA 1  
PLANTILLA DE PERSONAL ASIGNADO A CADA ENVASADORA

Líneas de Producción	No. Personas	Turnos	Plantilla de personal
Llenadora Botellas 1	9	3	27
Llenadora Botellas 2	6	1	6
Llenadora de Fundas	8	3	24
Llenadora de Bidones	5	1	5
Llenadora Sachet	3	1	3
Llenadora de Mantecas	9	3	27
Preparación Margarina-achiote	2	3	6
Abastecimiento de ME-MP	2	2	4
<b>Total</b>			<b>102</b>

En la tabla 2 se puede visualizar que todas las máquinas trabajando al mismo tiempo en todas las presentaciones, requieren de una plantilla teórica de 147 personas versus la plantilla de personal contratado que es de 102 personas.

TABLA 2  
MAQUINARIA DISPONIBLE Y DOTACIÓN DE PERSONAL POR EQUIPO POR PRESENTACIÓN

Línea de Producción	No. Personas H Normal	Turnos/Día	Item	Presentación	Dotación #Personas
Máquina No.1	9	3	item 1	200	9
Máquina No.1	9	3	item 2	390	9
Máquina No.1	9	3	item 3	900	9
Máquina No.1	9	3	item 4	1000	9
Máquina No.2	6	1	item 5	1,8	6
Máquina No.2	6	1	item 6	900	6
Máquina No.2	6	1	item 7	835	6
Máquina No.2	6	1	item 8	1000	6
Máquina No.4	8	3	item 9	Funda	8
Máquina No.4	5	1	item 10	3,8	5
Máquina No.4	5	1	item 11	20	5
Máquina No.4	4	1	item 12	55	5
Máquina No.5	4	3	item 13	50	8
Máquina No.5	5	3	item 14	15	10
Máquina No.5	15	3	item 15	3	15
Máquina No.6	5	3	item 16	25	10
Máquina No.6	5	3	item 17	20	10
Máquina No.6	5	3	item 18	55	8
Máquina No.7	3	1	item 19	100	3
<b>Total, de personas necesarias por presentación</b>					<b>147</b>

Los diagramas de flujo de procesos de cada línea de producción son similares entre sí, la variación radica en la presentación que se fabrica y el número de personas asignadas. A continuación, se muestra el diagrama de flujo del proceso de la línea de abastecimiento y las máquinas llenadoras: de botellas, fundas, bidones, sachet, mantecas, preparación de margarinas, ver figuras 1, 2, 3, 4, 5, 6 y 7.

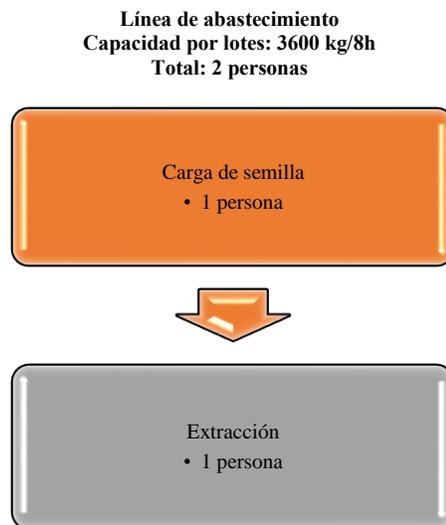


Fig. 1 Línea de Abastecimiento

**Llenadora de Botellas No.1**  
**Capacidad: 90 uds./min**  
**Total: 9 personas**

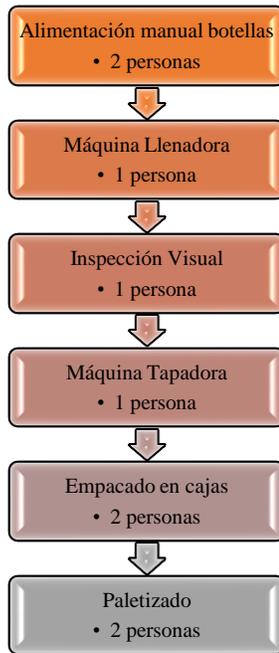


Fig. 2 Llenadora de Botellas No. 1

**Llenadora de Bidones**  
**Capacidad: 80 l/min**  
**Total: 5 personas**

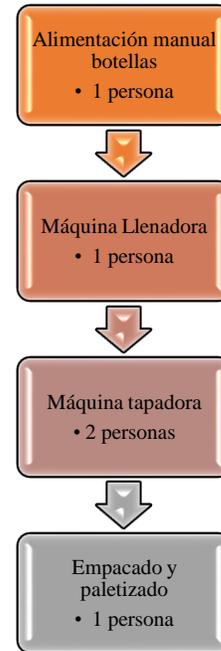


Fig. 4 Llenadora de Bidones

**Llenadora de Fundas**  
**Capacidad: 22 uds./min x 3**  
**Envasadoras**  
**Total: 8 personas**

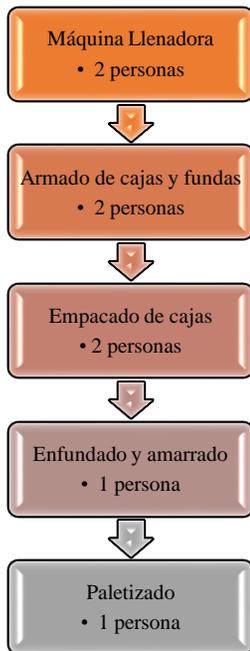


Fig. 3 Llenadora de Fundas

**Llenadora de Sachet**  
**Capacidad: 35 uds./min**  
**Total: 3 personas**

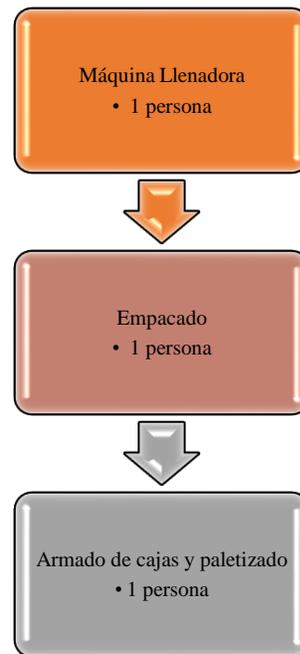


Fig. 5 Llenadora de Sachet

**Llenadora de Mantecas**  
 Capacidad: 2000 kg/h cada catalizador  
 Total: 9 personas



Fig. 6 Llenadora de Mantecas

**Preparación Margarina**  
 Capacidad: 3000 kg/2h  
 Total: 2 personas



Fig. 7 Preparación de margarina

El proceso de planificación de producción de la empresa tiene como primera entrada el presupuesto mensual de ventas definido por el área comercial. Este presupuesto es revisado por el planificador de producción evaluando las restricciones como

el lote mínimo y las capacidades nominales de producción para determinar cuántos días de producción se necesitan. Si el presupuesto se puede cumplir, pasa a ser cargado en el sistema ERP que posee la empresa para realizar la explosión de materiales a comprar para su posterior ejecución, caso contrario regresa al área comercial para ser corregido. Se asume que las compras de materiales han sido ejecutadas con anticipación para que el planificador de producción elabore un plan de producción semanal de acuerdo con las prioridades comerciales, ver figura 8.

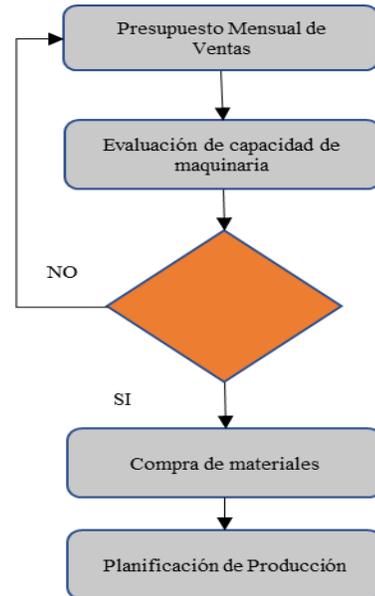


Fig. 8 Proceso de planificación de producción de envasadora de aceites y grasas.

### C. Características y Restricciones del Proceso

El proceso de producción de la empresa se basa en los siguientes aspectos:

- La demanda se obtuvo a través de un pronóstico de ventas para el 2020 aplicando el criterio de información de Akaike, buscando un pronóstico con la máxima verosimilitud, basándose en las ventas anuales del 2019 y 2020.
- La cantidad de ítems para el análisis son diecinueve.
- La cantidad de máquinas son siete, ver tabla 2.
- Los turnos son tres y actualmente se activan en función de las necesidades y emergencias de la empresa.
- La empresa labora todos los días de la semana.

## II. METODOLOGÍA

El presente artículo plantea maximizar la productividad y minimizar los costos de producción de envasado mediante modelización matemática.

La búsqueda de las empresas por minimizar los costos o maximizar las ganancias ha hecho posible que se desarrollen nuevas técnicas y sus aplicaciones son diversas [6].

Se consideran las variables y restricciones reales de producción como los cambios de formatos, setup por presentación, número

de envasadoras disponibles, presentaciones asignadas a cada tipo de máquina, plantilla de personal necesaria para cada presentación y cada equipo de envasado.

El modelo matemático que sirve de base para desarrollar este proyecto es el JSSP (Job Shop Scheduling Problem) [7].

#### A. Datos de Entrada para la Aplicación del Modelo

Se consideran como datos de entrada el número de máquinas que serán planificadas, los ítems que se van a producir, la dotación de personal por ítem o presentación, la demanda mensual, la capacidad de producción por máquina, los tiempos de setup, el costo por hora extra de la mano de obra por persona, como se observa en la tabla 3, [8].

TABLA 3  
LÍNEAS DE ENVASADO, ÍTEMS ASOCIADOS, PERSONAL ASIGNADO Y SETUP

Líneas de Producción	Item	Presentación	Capacidad	Personas	Tiempos Setup (horas)
Máquina No.1	item 1	200	90 uds/min	8	4
Máquina No.1	item 2	390	90 uds/min	8	4
Máquina No.1	item 3	900	90 uds/min	9	4
Máquina No.1	item 4	1000	90 uds/min	9	4
Máquina No.2	item 5	1,8	18 uds/min	6	4
Máquina No.2	item 6	900	18 uds/min	6	4
Máquina No.2	item 7	835	18 uds/min	6	4
Máquina No.2	item 8	1000	18 uds/min	6	4
Máquina No.4	item 9	Funda	66 uds/min	8	1
Máquina No.4	item 10	3,8	4 uds/min	5	1
Máquina No.4	item 11	20	4 uds/min	5	1
Máquina No.4	item 12	55	2 uds/min	5	1
Máquina No.5	item 13	50	30 kg/min	4	1
Máquina No.5	item 14	15	30 kg/min	5	1
Máquina No.5	item 15	3	30 kg/min	15	1
Máquina No.6	item 16	25	23 kg/min	5	1
Máquina No.6	item 17	20	23 kg/min	5	1
Máquina No.6	item 18	55	23 kg/min	4	1
Máquina No.7	item 19	100	35 kg/min	3	4

El costo de la hora hombre durante la jornada laboral normal dentro de las 240 horas laborables mensuales es de \$2,5 USD. La hora en jornada de horas extras en un día de fin de semana, feriado o cuando doblan turnos durante el mismo día tiene un valor adicional del 100%, es decir, \$5 USD.

El horizonte de la planificación de producción es mensual para ajustar las prioridades de la demanda de ventas dada por el área comercial de la compañía.

#### B. Definir los Índices y Parámetros del Modelo

La parametrización de datos requiere de conjuntos de agrupaciones donde se utilizan índices que se detallan en la tabla 4.

TABLA 4  
ÍNDICES DEL MODELO MATEMÁTICO

Índices	
<b>i</b>	ítem o SKU
<b>j</b>	Línea de producción
<b>l</b>	Semana
<b>d</b>	Día de la semana
<b>t</b>	Turno de producción

Los parámetros que forman parte del desarrollo del modelo matemático se presentan en la tabla 5.

TABLA 5  
PARÁMETROS DEL MODELO MATEMÁTICO

Parámetros y tablas	
<b>U (i)</b>	Utilidad del ítem i
<b>O(i)</b>	Costo de la operación en tiempo normal
<b>OE(i)</b>	Costo de la operación en tiempo extra
<b>Tasa producción(i)</b>	Tasa de producción del ítem i
<b>Plan de producción (j, l)</b>	Plan de producción de la línea j en la semana l
<b>Demanda (j, l)</b>	Demanda de la línea j en la semana l
<b>n(t)</b>	Número de personas nómina actual
<b>m(t)</b>	Número máximo de personas extras a contratar
<b>Proceso Persona (j, l, d)</b>	Número de personas a necesitar en la línea j en la semana l en el día d
<b>AsigProc (j, l, d)</b>	Proceso de la línea j en la semana l en el día d

#### C. Declarar las Variables de Decisión

Se hace uso de variables de decisión como detalla la tabla 6 para la obtención de los resultados deseados.

TABLA 6  
VARIABLES DE DECISIÓN DEL MODELO MATEMÁTICO

Variables de decisión	
<b>X (i, j, l, d, t)</b>	Cantidad de ítems i producidos en la línea j la semana l el día d en el turno t
<b>Y (i, j, l, d, t)</b>	Cantidad de personal requerido en horario normal para producir el ítem i en la línea j la semana l el día d en el turno t
<b>W (i, j, l, d, t)</b>	Cantidad de personal requerido en horario extra para producir el ítem i en la línea j la semana l el día d en el turno t
<b>h (i, j(i), t)</b>	Horario asignado para el ítem i del proceso j en el turno t

#### D. Definir la Función Objetivo

El objetivo principal del modelo es maximizar la productividad del plan de producción optimizando la capacidad de producción y minimizando el costo de la mano de obra en horas normales y horas extras a utilizar.

$$\begin{aligned} \text{Max } Z = & \sum_{i,j,l,d,t}^{I,J,L,D,T} X(i,j,l,d,t) * U(i) - \\ & \sum_{i,j,l,d,t}^{I,J,L,D,T} Y(i,j,l,d,t) * O(i) - \sum_{i,j,l,d,t}^{I,J,L,D,T} W(i,j,l,d,t) * \\ & OE(i) \end{aligned} \quad (1)$$

#### E. Describir las Restricciones

Considerando las restricciones propias del proceso productivo [9], [10], [11]:

- Tasa de Producción

La Producción del ítem será igual a la Tasa de producción del ítem por la cantidad de horas del proceso.

$$\begin{aligned} X(i,j,l,d,t) = & \text{TasaProducción}(i) * \\ h(i,j(i),t) \quad \forall i \forall j \forall l \forall d \forall t \end{aligned} \quad (2)$$

- Cumplimiento de la Demanda

La Cantidad por producir debe satisfacer la demanda en cada proceso de cada línea de producción j en cada semana l.

$$\sum_{i,d,t}^{I,D,T} X(i,j,l,d,t) \geq \text{Demanda}(j,l) \quad \forall j \forall l \quad (3)$$

- Capacidad de Producción

La Cantidad de ítems a producir no debe ser mayor que la cantidad del plan de producción.

$$\sum_{i,d,t}^{I,D,T} X(i,j,l,d,t) \leq \text{PlanProducción}(j,l) \quad \forall j \forall l \quad (4)$$

- Número de Personas

La Cantidad de personas en trabajar en horario normal será menor o igual al valor extra máximo de personas a contratar necesarias.

$$\sum_{i,j,l,d}^{I,J,L,D} W(i,j,l,d,t) \leq m(t) \quad \forall t \quad (5)$$

La Cantidad de personas a trabajar en horario normal más las horas extras debe ser igual a las personas asignadas a cada proceso en cada línea planificada por semana.

$$\begin{aligned} \sum_{i,j,l,d}^{I,J,L,D} Y(i,j,l,d,t) + \sum_{i,j,l,d}^{I,J,L,D} W(i,j,l,d,t) = \\ \text{ProcesoPersona}(j,l,d) * \text{AsigProc}(j,l,d) \end{aligned} \quad (6)$$

La cantidad de horas laborales en cada turno y proceso no deben superar las 8 horas.

$$h(i,j(i),t) \leq 8 \quad \forall i \forall j \forall t \quad (7)$$

Las variables pertenecen a los números enteros.

$$X(i,j,l,d,t), Y(i,j,l,d,t), W(i,j,l,d,t), h(j(i),t) \in \mathbb{N} \quad (8)$$

#### F. Construir el Modelo Matemático

$$\begin{aligned} \text{Maximizar } Z = & \sum_{i,j,l,d,t}^{I,J,L,D,T} X(i,j,l,d,t) * U(i) - \\ & \sum_{i,j,l,d,t}^{I,J,L,D,T} Y(i,j,l,d,t) * O(i) - \sum_{i,j,l,d,t}^{I,J,L,D,T} W(i,j,l,d,t) * \\ & OE(i) \end{aligned}$$

Sujeto a:

$$\begin{aligned} X(i,j,l,d,t) = & \text{TasaProducción}(i) * \\ h(i,j(i),t) \quad \forall i \forall j \forall l \forall d \forall t \end{aligned}$$

$$\sum_{i,d,t}^{I,D,T} X(i,j,l,d,t) \geq \text{Demanda}(j,l) \quad \forall j \forall l$$

$$\sum_{i,d,t}^{I,D,T} X(i,j,l,d,t) \leq \text{PlanProducción}(j,l) \quad \forall j \forall l$$

$$\sum_{i,j,l,d}^{I,J,L,D} W(i,j,l,d,t) \leq m(t) \quad \forall t$$

$$\begin{aligned} \sum_{i,j,l,d}^{I,J,L,D} Y(i,j,l,d,t) + \sum_{i,j,l,d}^{I,J,L,D} W(i,j,l,d,t) = \\ \text{ProcesoPersona}(j,l,d) * \text{AsigProc}(j,l,d) \end{aligned}$$

$$h(i,j(i),t) \leq 8 \quad \forall i \forall j \forall t$$

$$X(i,j,l,d,t), Y(i,j,l,d,t), W(i,j,l,d,t), h(j(i),t) \in \mathbb{N}$$

#### G. Desarrollo y Funcionamiento de la Heurística

El diseño se desarrolla en el Software Wolfram Mathematica considerando los datos del modelo, sus restricciones y variables, como el tiempo de planificación, cumplimiento de la demanda, asignación de máquinas, cantidad de trabajadores a necesitar en la planificación, demanda de producto y su funcionamiento se detalla en los apéndices A, B y C.

### III. RESULTADOS

La prioridad de producción de cada ítem es ordenada por el área comercial y está dada por los días de inventario del ítem a nivel nacional y el promedio diario de ventas. La obtención de los resultados de la programación mensual por ítem, por máquina, por turno, por día y su asignación de mano obra, permite decidir fácilmente el plan de producción semanal de un ítem por sobre otro en función del menor costo generado en mano de obra extra y entregarlo oportunamente para que esté disponible para la venta.

Resultados Mes 1: seis de las siete máquinas cumplen su plan de producción dentro de los 22 días laborables disponibles de este mes. Sólo la máquina 5 requiere 1 turno de horas extras para completar su plan, ver tabla 7.

La planificación del día 23 se puede revisar en la tabla 8 donde se requiere producir el ítem 15 que demanda 15 personas para su fabricación de acuerdo con su requerimiento.

TABLA 7  
PLAN DE UTILIZACIÓN DE MAQUINARIA EN DÍAS

Líneas	Días de Producción Planificados
Máquina No.1	21,7
Máquina No.2	15,0
Máquina No.3	21,0
Máquina No.4	15,0
Máquina No.5	22,3
Máquina No.6	20,7
Máquina No.7	15,0

TABLA 8  
PLAN PRODUCCIÓN Y MANO DE OBRA DÍA 23 MES 1

El costo de las horas extras fijado como dato de entrada es de \$5 por lo que las horas extras generadas para el día 23 de la planificación en un turno de 8 horas con 15 personas es de \$600. Así mismo el costo generado por la mano de obra extra los días 5, 6, 7, 21 de la tabla 4.8 suman \$1400, en total \$2000 dólares en horas extras para cumplir el plan como se ve en la tabla 9.

Por lo que se decide revisar los días de inventario en stock de los ítems que se fabrican en estas máquinas para decidir retrasar su trabajo y apagarlas en los días que se necesita más mano de obra y se pueden realizar los cambios en el plan de producción sabiendo que las máquinas No. 4 y No.7 requieren 15 días laborables de trabajo, se replanifican las prioridades de producción apagando estas máquinas los días de mayor demanda de personal sin afectar los días totales de producción, ni la entrega de producto terminado.

El cambio del plan de producción durante los días 5, 6, 7, 21 para los días 14, 15, 16 y 17, genera un requerimiento óptimo de menor número de mano de obra, logrando un ahorro en las horas extras como se visualiza en la tabla 10.

TABLA 9  
PLANIFICACIÓN DIARIA DE MANO OBRA NECESARIA PLAN PROPUESTO

Día	No. Personas necesarias	No. Personas necesarias en horas extras	Costo personas en horas extras (\$)	Mano de obra libre
1	92	0	\$ -	0
2	92	0	\$ -	0
3	92	0	\$ -	0
4	92	0	\$ -	0
5	97	-5	\$ -200,00	0
6	104	-12	\$ -480,00	0
7	98	-6	\$ -240,00	0
8	92	0	\$ -	0
9	92	0	\$ -	0
10	92	0	\$ -	0
11	90	0	\$ -	2
12	89	0	\$ -	3
13	88	0	\$ -	4
14	78	0	\$ -	14
15	78	0	\$ -	14
16	75	0	\$ -	17
17	75	0	\$ -	17
18	78	0	\$ -	14
19	78	0	\$ -	14
20	78	0	\$ -	14
21	104	-12	\$ -480,00	0
22	63	0	\$ -	29
23	15	0	\$ -600,00	77
24	0	0	\$ -	92
25	0	0	\$ -	92
26	0	0	\$ -	92
27	0	0	\$ -	92
28	0	0	\$ -	92
29	0	0	\$ -	92
30	0	0	\$ -	92
<b>Costo MO extra por día \$ Usd.</b>			<b>\$ -2.000,00</b>	

Logrando un ahorro en horas extras de fin de semana y entre días laborables dentro de 1 mes como se detalla en la comparación del costo en la tabla 11.

El cumplimiento del plan de producción está sobre el 100% debido a los lotes mínimos estándares establecidos que corresponden a un arranque de 8h para cada proceso. Ver tabla 12.

La plantilla estándar actual es de 92 personas y de acuerdo con los resultados obtenidos se requiere incrementar esa plantilla a 99 personas para reducir el gasto en horas extras.

De acuerdo con los datos históricos de ventas del 2019, 2020 y 2021 desde enero hasta septiembre y con el pronóstico obtenido de octubre a diciembre de la figura 9, el incremento en ventas del 2021 en promedio no supera el 10%.

TABLA 10  
PLANIFICACIÓN DIARIA DE MANO OBRA NECESARIA PLAN  
ÓPTIMO

Día	No. Personas necesarias	No. Personas necesarias en horas extras	Costo personas en horas extras (\$)	Mano de obra libre
1	92	0	\$ -	0
2	92	0	\$ -	0
3	92	0	\$ -	0
4	92	0	\$ -	0
5	92	0	\$ -	0
6	96	-4	\$ -160,00	0
7	90	0	\$ -	0
8	92	0	\$ -	0
9	92	0	\$ -	0
10	92	0	\$ -	0
11	90	0	\$ -	2
12	89	0	\$ -	3
13	88	0	\$ -	4
14	83	0	\$ -	14
15	83	0	\$ -	14
16	91	0	\$ -	1
17	89	0	\$ -	3
18	81	0	\$ -	14
19	78	0	\$ -	14
20	78	0	\$ -	14
21	93	-1	\$ -40,00	0
22	63	0	\$ -	29
23	4	0	\$ -160,00	77
24	0	0	\$ -	92
25	0	0	\$ -	92
26	0	0	\$ -	92
27	0	0	\$ -	92
28	0	0	\$ -	92
29	0	0	\$ -	92
30	0	0	\$ -	92
Costo MO extra por día \$ Usd.			\$ -360,00	

TABLA 12  
CUMPLIMIENTO PLAN DE PRODUCCIÓN MES 1

Líneas de Producción	Item	Plan Prod. Mes	Presupuesto Ventas	%Cumplimiento Producción
Máquina No.1	item 1	907200	903602	100%
Máquina No.1	item 2	475200	432614	110%
Máquina No.1	item 3	1123200	1093874	103%
Máquina No.1	item 4	302400	292500	103%
Máquina No.2	item 5	51840	45707	113%
Máquina No.2	item 6	8640	6872	126%
Máquina No.2	item 7	17280	12150	142%
Máquina No.2	item 8	51840	49376	105%
Máquina No.4	item 9	1995840	1974083	101%
Máquina No.4	item 10	9600	7976	120%
Máquina No.4	item 11	17280	15987	108%
Máquina No.4	item 12	960	848	113%
Máquina No.5	item 13	734400	722456	102%
Máquina No.5	item 14	129600	120451	108%
Máquina No.5	item 15	100800	87156	116%
Máquina No.6	item 16	264960	256500	103%
Máquina No.6	item 17	77280	72600	106%
Máquina No.6	item 18	342240	335412	102%
Máquina No.7	item 19	252000	241832	104%

COMPARATIVO DE VENTAS (UNIDADES)

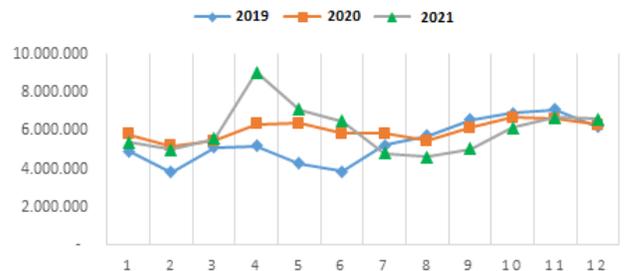


Fig. 9 Comparativo de ventas 2019-2020-2021

TABLA 11  
COMPARATIVO COSTOS DE PLAN PROPUESTO VS PLAN ÓPTIMO

	Costo MO Extra Plan 1	Costo MO Extra Plan 2	Ahorro
Cambios por prioridad	\$ -2.000,00	\$ -360,00	\$-1.640,00

Se ingresan los datos de la demanda del mes de abril 2020 por ser el pico más alto y se obtienen los días de producción necesarios en la tabla 13. Donde se visualiza que se requiere trabajar más de los 22 días laborables del mes, es decir los fines de semana en horas extras para cumplir con la planificación de producción.

TABLA 13  
DÍAS DE PRODUCCIÓN PLANIFICADOS MES DE ABRIL 2020

Líneas	Nuevos días planificados mes
Máquina No.1	29
Máquina No.2	20
Máquina No.3	27
Máquina No.4	31
Máquina No.5	28
Máquina No.6	30
Máquina No.7	25
<b>Total, general</b>	<b>190</b>

El costo extra asociado a esta planificación es de \$23.800 USD como se puede ver en la tabla 14.

**TABLA 14**  
COSTO DE HORAS EXTRAS PLANIFICACIÓN DE ABRIL 2020

Día	No. Personas necesarias	No. Personas necesarias en horas extras	Costo personas en horas extras (\$)	Mano de obra libre
1	92	0	\$ -	0
2	92	0	\$ -	0
3	92	0	\$ -	0
4	92	0	\$ -	0
5	92	0	\$ -	0
6	92	0	\$ -	0
7	92	0	\$ -	0
8	104	-12	\$ -480,00	0
9	92	0	\$ -	0
10	98	-6	\$ -240,00	0
11	92	0	\$ -	0
12	92	0	\$ -	0
13	92	0	\$ -	0
14	92	0	\$ -	0
15	92	0	\$ -	0
16	92	0	\$ -	0
17	92	0	\$ -	0
18	86	0	\$ -	6
19	86	0	\$ -	6
20	86	0	\$ -	6
21	86	0	\$ -	6
22	88	0	\$ -	4
23	89	0	\$ 3.560,00	3
24	89	0	\$ 3.560,00	3
25	94	-2	\$ 3.760,00	0
26	86	0	\$ 3.440,00	6
27	98	-6	\$ 3.920,00	0
28	92	0	\$ 3.680,00	0
29	47	0	\$ 1.880,00	45
30	18	0	\$ 720,00	74
<b>Costo MO extra por día \$ Usd.</b>			<b>\$ 23.800,00</b>	

Este resultado permite evaluar la necesidad de contratar personal adicional a la plantilla estándar para disminuir el costo que se genera en horas extras. Debido a que existen 2 máquinas No. 2 y No. 4 con mano de obra contratada para 1 solo turno, se simula la contratación de turnos extras para cumplir el plan en menor tiempo y así reducir el costo. Se incrementan 2 turnos en la máquina No. 1 y un turno en la No. 2.

Se requiere de la contratación de 17 personas adicionales, incrementado los turnos para reducir los días planificados de producción para este mes. Ver tabla 15.

El nuevo costo generado por esta planificación se puede ver en la tabla 16.

**TABLA 15**  
DÍAS PLANIFICADOS CON NUEVA PLANTILLA DE MANO DE OBRA PARA CONTRATAR

Líneas	Días planificados mes	Turnos estándar	MO estándar	Plantilla estándar	Turnos Nuevos	Plantilla nueva	Nuevos días planificados mes
Máq No.1	29	3	9	27	3	27	25
Máq No.2	20	1	6	6	3	18	20
Máq No.3	27	3	8	24	3	24	25
Máq No.4	31	1	5	5	2	10	16
Máq No.5	28	3	4	12	3	12	28
Máq No.6	30	3	5	15	3	15	30
Máq No.7	25	1	3	3	1	3	25
<b>Total, general</b>	<b>190</b>			<b>92</b>		<b>109</b>	<b>169</b>
				<b>Personal extra necesario</b>		<b>-17</b>	

**TABLA 16**  
COSTO DE HORAS EXTRAS PLANIFICACIÓN NO. 2

Día	No. Personas necesarias	No. Personas necesarias en horas extras	Costo personas en horas extras (\$)	Mano de obra libre
1	109	0	\$ -	0
2	109	0	\$ -	0
3	109	0	\$ -	0
4	109	0	\$ -	0
5	109	0	\$ -	0
6	109	0	\$ -	0
7	109	0	\$ -	0
8	109	0	\$ -	0
9	109	0	\$ -	0
10	109	0	\$ -	0
11	109	0	\$ -	0
12	109	0	\$ -	0
13	109	0	\$ -	0
14	109	0	\$ -	0
15	109	0	\$ -	0
16	109	0	\$ -	0
17	109	0	\$ -	0
18	109	0	\$ -	6
19	109	0	\$ -	6
20	109	0	\$ -	6
21	81	0	\$ -	6
22	81	0	\$ -	4
23	81	0	\$ 3.240,00	3
24	81	0	\$ 3.240,00	3
25	81	0	\$ 3.240,00	0
26	27	0	\$ 1.080,00	6
27	27	0	\$ 1.080,00	0
28	27	0	\$ 1.080,00	0
29	15	0	\$ 600,00	45
30	15	0	\$ 600,00	74
<b>Costo MO extra por día \$ Usd.</b>			<b>\$ 14.160,00</b>	

El ahorro es de \$9.460 USD. Ver tabla 17. Esto determina la viabilidad de contratar las 17 personas de manera temporal (3 meses) para cubrir esta nueva planificación de producción atípica debido a la sobredemanda provocada por la pandemia.

TABLA 17  
COMPARATIVO DE COSTOS DE HORAS EXTRAS DE PLAN 1 VS PLAN 2

	Costo MO Extra Plan 1	Costo MO Extra Plan 2	Ahorro
Cambios por prioridad	\$ 23.800,00	\$ 14.160,00	\$ 9.640,00

El promedio mensual de mano de obra requerida para el 2019 es de 97 personas y para el 2020 es de 98 personas. La simulación del 2020 se realiza con datos reales de enero a septiembre y su pronóstico de octubre a diciembre. Debido a las circunstancias atípicas generadas por la pandemia donde las ventas reales se incrementaron en 100% en ciertos ítems por el pánico suscitado. Y a que el ausentismo llegó a un 40% en el mes de mayo por enfermos de COVID 19. Los resultados sugieren la contratación de 5 personas adicionales a la plantilla estándar es decir pasar de 92 a 97 personas. Ver tabla 18.

TABLA 18  
REQUERIMIENTO DE MANO DE OBRA MENSUAL

Meses	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Promedio
MO 2019	95	95	95	99	99	95	95	95	99	99	99	99	97
MO 2020	95	92	95	109	109	92	92	92	97	99	99	99	98

#### IV. CONCLUSIONES

En el desarrollo de la propuesta planteada para la optimización de la capacidad de maquinaria y mano de obra de la planta envasadora de aceites y grasas se recopilaron los datos existentes sobre el cumplimiento de los planes de producción y las horas de utilización de la maquinaria y se analizó esta información para la identificación de las restricciones que afectaban el cumplimiento del plan de producción evidenciando que el mayor número de horas extras generadas corresponden a horas planificadas para la producción de la línea de envasado durante fines de semana con presentaciones que requieren un alto número de personal asignado.

Con los datos obtenidos se desarrolló el modelo JSSP en el software Wolfram, de acuerdo con las restricciones propias del proceso para generar el plan de producción y la planificación de mano de obra necesaria para la fabricación de los ítems solicitados por la demanda.

La planificación de mano de obra generada por día y con un horizonte mensual permite decidir de forma efectiva qué productos se adelanta o retrasa su fabricación de acuerdo con las prioridades dadas por el área comercial o el stock en inventarios de la empresa, pudiendo evitarse la generación de horas extras innecesariamente.

Se requiere contratar 5 personas adicionales a la plantilla estándar para cumplir con el plan de producción y disminuir el gasto mensual en horas extras.

#### V. RECOMENDACIONES

Se sugiere implementar el modelo desarrollado en Wolfram para la programación de producción en remplazo del plan manual elaborado sólo en función de la demanda presupuesta sin considerar los costos generados por la planificación de turnos de fabricación de ciertos productos que requieren mucha dotación de personal durante los fines de semana.

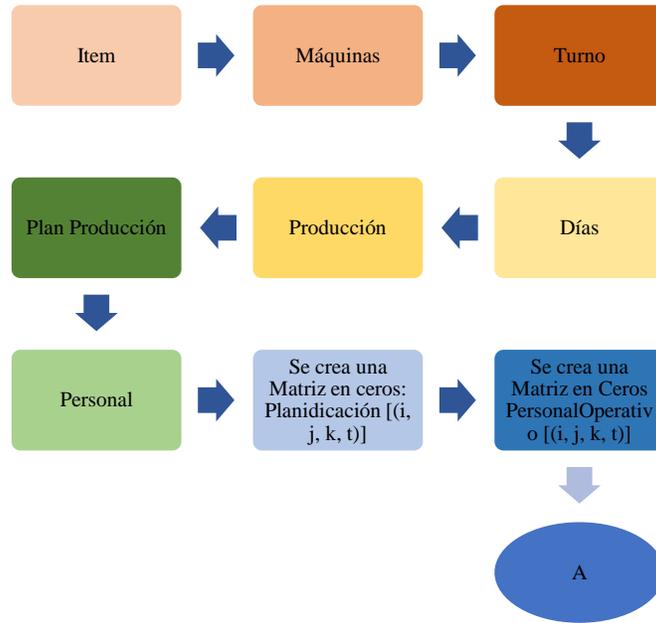
Se recomienda la elaboración de un indicador de control sobre la planificación de producción y el número de horas extras ejecutadas por mes. El cumplimiento de las horas extras reales sobre las teóricas o planificadas, darán un porcentaje de cumplimiento sobre el plan de producción emitido por el modelo.

Se sugiere la contratación de 5 personas para reemplazar el personal que se va de vacaciones y evitar el sobrecosto para cubrir su ausencia.

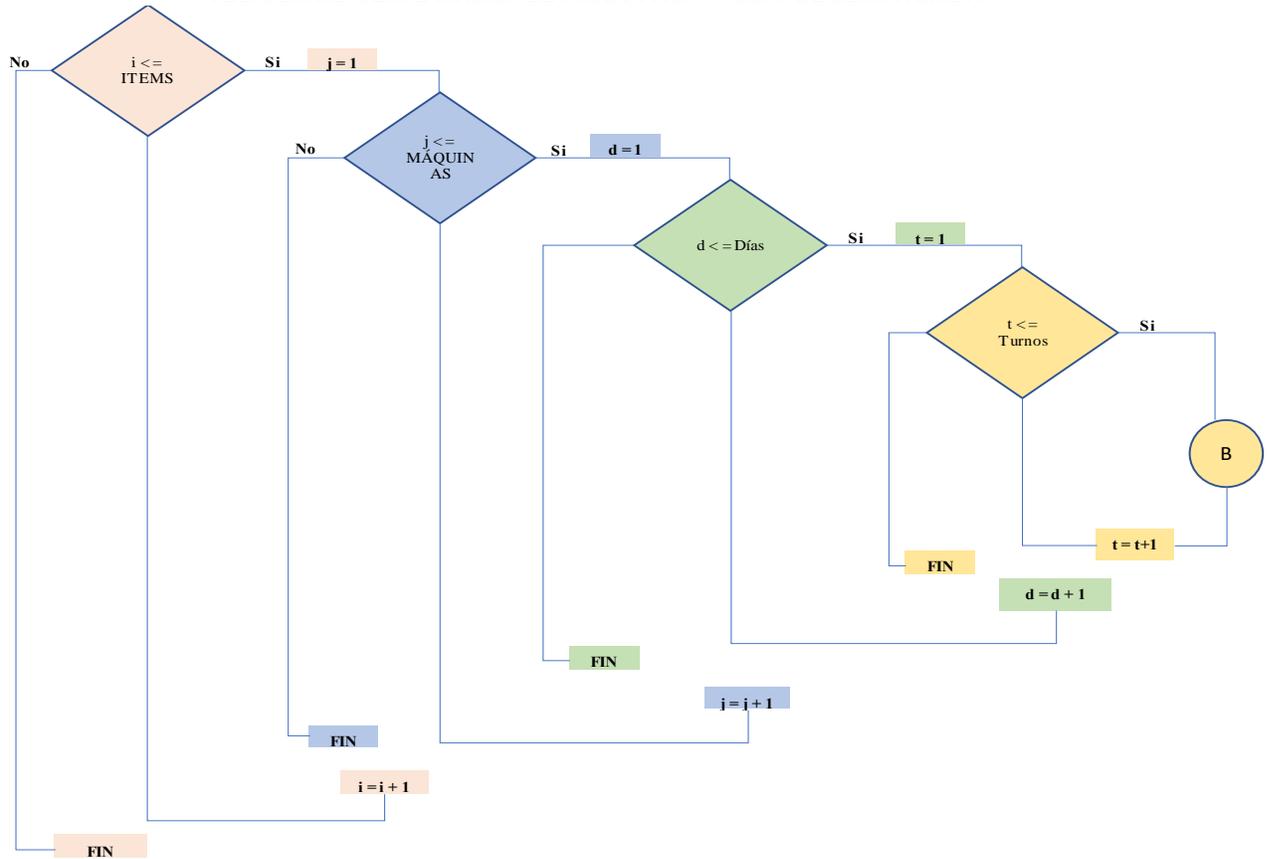
#### REFERENCIAS

- [1] Anaya, J. J. *Logística Integral*. Madrid: ESIC EDITORIAL, 2007.
- [2] Amadeo, K. (2018). *The balance*.
- [3] Al-Sabaan&Magbool, R. "Layoffs, Coping, and Commitment: Impact of Layoffs on Employees and Strategies Used in Coping with Layoffs", 2014.
- [4] Rahmani, A. &. *Impacto de la tecnología de la información en Gestión de Producción en Pequeñas y Industrias medianas*, 2015.
- [5] Ivert&Jonsson. *The potential benefits of advanced planning and scheduling systems in sales and operations planning*, 2010.
- [6] Puente, G. *Programación Lineal para la toma de decisiones*. Riobamba, Ecuador: ESPOCH, 2018.
- [7] Gaitán&Ruiz, O. "Mixed Integer Lineal Programming Model to Schedule Flexible Job-Shop Systems in Make to Order Environments", 2017.
- [8] Zamarripa Ocampo. *Optimización de la producción de una línea de manufactura mediante un modelo matemático*, Universidad Autónoma de Nuevo León 2013.
- [9] K. F. Barcia, W. A. Córdova, and V. H. González, "Modelo matemático para la optimización del plan maestro de producción para lácteos," in *Proceedings of the LACCEI international Multiconference for Engineering, Education and Technology*, 2018, vol. 2018–July.
- [10] ROBERT, Krastek; SAIBEL, Ramos; ANGEL, Duarte. *Formulación de un modelo matemático para optimizar el tiempo de producción en una planta extrusoras de tubos*. uct, Puerto Ordaz, v. 16, n. 62, p. 33-41, marzo 2012.
- [11] A. J. Caicedo-Rolón, A. M. Criado-Alvarado, K. J. Morales-Ramón. *Modelo matemático para la planeación de la producción en una industria metalmeccánica*. Universidad Tecnológica de Pereira. *Scientia Et Technica*, vol. 24, núm. 3, pp. 408-419, 2019.

APÉNDICE A  
 FLUJOGRAMA PLANIFICACIÓN DE PRODUCCIÓN Y MANO DE OBRA



APÉNDICE B  
 FLUJOGRAMA PLANIFICACIÓN DE PRODUCCIÓN Y MANO DE OBRA PARTE A



APÉNDICE C  
 FLUJOGRAMA PLANIFICACIÓN DE PRODUCCIÓN Y MANO DE OBRA PARTE B

