

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL



**FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE POSTGRADOS**

PROYECTO DE TITULACIÓN

PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:

**“MAGÍSTER EN LOGÍSTICA Y TRANSPORTE CON MENCIÓN EN
MODELOS DE OPTIMIZACIÓN”**

TEMA:

Optimización de la capacidad de maquinaria y mano de obra de una planta envasadora de aceites y grasas usando el modelo Job Shop Scheduling Problem (JSSP)

AUTOR:

YADIRA LEONOR VELASTEGUI PINCAY

Guayaquil - Ecuador

2020

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 JJSP(Job Shop Scheduling Problem) para planificar la producción y la mano de obra de una empresa manufacturera que 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: Planificar, optimización, maximizar, mano de obra directa.

ABSTRACT

Planning is establishing a path that will serve to develop something: an activity, a job or a project. Doing it efficiently, considering the limitations that may affect its development, 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 JJSP (Job Shop Scheduling Problem) to plan the production and labor of a manufacturing company that has different machines to develop a diverse portfolio of products and an only one staff template to operate these 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. The main objective of this project is the optimization of the production plan by maximizing productivity and minimizing costs in the area with the greatest weight in the manufacture of a product: its direct labor. In this way the company can maintain its operating costs and be more competitive in the market.

Keywords: Planning, optimization, maximizing, direct labor.

DEDICATORIA

A Dios por estar a mi lado en cada paso que doy. A mi hija por ser la razón de mi existencia. A mi madre por ser mi inspiración. A mi mejor amigo que está en el cielo.

AGRADECIMIENTO

Mi agradecimiento eterno a Dios por todas las bendiciones y oportunidades que me brinda cada día. A mi hija por su comprensión y apoyo incondicional. A mi madre por ser el pilar fundamental de mi familia. A mi mejor amigo por sus consejos. A mis maestros, quienes pusieron a prueba mi perseverancia y me inspiraron a seguir adelante. A mis amigas de estudio, sin ellas hubiese sido mucho más difícil alcanzar esta meta. A mi tutor por su paciencia, liderazgo y guía en el desarrollo de este proyecto.

DECLARACIÓN EXPRESA

La responsabilidad por los hechos y doctrinas expuestas en este Proyecto de Titulación me corresponde exclusivamente y ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría. El patrimonio intelectual del mismo corresponde exclusivamente a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación referido.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Yadira Leonor Velastegui Pinca', enclosed within a large, stylized blue loop.

YADIRA LEONOR VELASTEGUI PINCAY

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN



José Cabezas García, Ph.D.
PRESIDENTE



Kleber Barcia Villacreses, Ph.D.
DIRECTOR



José Vera Aray, Mgtr.
VOCAL 1



Pedro Ramos De Santis, Mgtr.
VOCAL 2

ABREVIATURAS O SIGLAS

SKU	Stock Keeping Unit (Unidad inventariada para comercializar)
PPP	Production Planning Problema o problema de planificación de la producción.
MRP	Material Requirement Planning o planificación de requerimiento de materiales.
IES	Instituciones de Educación Superior.
JSSP	Job Shop Scheduling Problem o Problema de programación maestra.
USD	Moneda local: dólares americanos
MPS	Master Production Schedule (Plan Maestro Producción)
MTS	Make to Stock (Fabricar para inventario)
MTO	Make to Order (Fabricar bajo pedido)
BOM	Bill of Material (Lista de materiales)
CRP	Capacity Requirements Planning (Planeación de los requerimientos de capacidad)
ud	Unidad
uds/min	Unidades/minuto
kg	Kilogramos
g	Gramos
ml	Mililitros
T	Toneladas
l	litros
caj	Caja/cajas
h	Horas
COVID 19	Corona Virus Disease 2019

TABLA DE CONTENIDO

CAPÍTULO 1.....	1
1. GENERALIDADES.....	1
1.1. ANTECEDENTES.....	2
1.1.1. LA REVOLUCIÓN INDUSTRIAL Y LA OPTIMIZACIÓN DE LA PRODUCCIÓN.....	2
1.1.2. LA INVESTIGACIÓN DE OPERACIONES EN LA INDUSTRIA.....	4
1.1.3. INVERSIÓN EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA.....	4
1.2. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	6
1.3. JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA.....	7
1.4. OBJETIVOS.....	10
1.4.1. OBJETIVO GENERAL.....	10
1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	10
1.5. ALCANCE.....	10
1.6. METODOLOGÍA.....	11
1.6.1. DIAGRAMA DE FLUJO DEL DESARROLLO DEL MODELO DE OPTIMIZACIÓN.....	12
1.7. ESTRUCTURA DEL PROYECTO.....	14
CAPÍTULO 2.....	15
2. MARCO TEÓRICO.....	15
2.1. PLANEACIÓN DE LOS RECURSOS PARA LA PRODUCCIÓN.....	15
2.2. PLANIFICACIÓN O PROGRAMACIÓN AGREGADA.....	15
2.3. PROCESO DE PLANEACIÓN Y CONTROL DE LA PRODUCCIÓN.....	16
2.4. PRONÓSTICO DE LA DEMANDA.....	17
2.5. PLAN MAESTRO DE PRODUCCIÓN.....	17
2.6. PLANEACIÓN DE LA CAPACIDAD DE PRODUCCIÓN.....	17
2.7. OPCIONES DE CAPACIDAD.....	18
2.8. PROGRAMACIÓN DE LA PRODUCCIÓN.....	19
2.9. ASIGNACIÓN DE TURNOS.....	19
2.10. SECUENCIACIÓN DE PRODUCTOS.....	19
2.11. PROGRAMACIÓN LINEAL PARA LA TOMA DE DECISIONES.....	20
2.11.1. COMPONENTES DE UN MODELO DE PROGRAMACIÓN LINEAL.....	20
2.12. JOB SHOP SCHEDULING PROBLEM.....	21
2.13. ESTADO DEL ARTE.....	22
2.13.1. JOB SHOP SCHEDULING FLEXIBLE EN UN AMBIENTE MAKE TO ORDER.....	22
2.13.2. MODELO MATEMÁTICO DEL PROBLEMA DE PLANIFICACIÓN DE FUERZA LABORAL.....	23
2.13.3. OPTIMIZACIÓN DE LA PRODUCCIÓN EN UNA LÍNEA DE MANUFACTURA.....	23
2.13.4. PROGRAMACIÓN DE HORARIOS DE ENFERMERÍA.....	24
2.13.5. OPTIMIZACIÓN DE LA PLANEACIÓN DE LA PRODUCCIÓN.....	25
2.14. PROCEDIMIENTOS HEURÍSTICOS.....	25
CAPÍTULO 3.....	29
3. DESARROLLO DE METODOLOGÍA.....	29
3.1. SITUACIÓN ACTUAL DE LA EMPRESA.....	29
3.2. FLUJOS DE PROCESOS, PERSONAL ASIGNADO Y CAPACIDAD DE PRODUCCIÓN.....	31
3.3. PROCESO ACTUAL DE PLANIFICACIÓN DE PRODUCCIÓN.....	37
3.4. CUMPLIMIENTO DEL PLAN DE PRODUCCIÓN.....	38
3.4.1. EFICIENCIA OPERACIONAL. (TIEMPOS MUERTOS, CAMBIOS DE FORMATO, PREPARACIÓN).....	39
3.4.2. UTILIZACIÓN DE LA CAPACIDAD DE PRODUCCIÓN.....	41
3.5. HISTÓRICO DE VENTAS Y PRESUPUESTO 2020.....	43
3.6. HORAS EXTRAS GENERADAS.....	48
3.7. DESARROLLO DEL MODELO MATEMÁTICO.....	49
3.7.1. ÍNDICES DEL MODELO.....	49
3.7.2. VARIABLES DE DECISIÓN.....	49
3.7.3. PARÁMETROS.....	50

3.7.4.	FUNCIÓN OBJETIVO	50
3.7.5.	RESTRICCIONES	51
	TASA DE PRODUCCIÓN	51
	CUMPLIMIENTO DE DEMANDA	51
	CAPACIDAD DE PRODUCCIÓN	51
	NÚMERO DE PERSONAS.....	51
3.8.	DESARROLLO Y FUNCIONAMIENTO DE LA HEURÍSTICA	52
CAPÍTULO 4.....		54
4.	APLICACIÓN DE LA HEURÍSTICA	54
4.1.	DATOS DE ENTRADA PARA LA APLICACIÓN DEL MODELO.....	54
4.2.	RESULTADOS DEL MODELO APLICADO	55
4.2.1.	SIMULACIÓN DEL MODELO	55
4.3.	RESULTADOS DEL MODELO.....	60
CAPÍTULO 5.....		68
5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	68
5.1.	CONCLUSIONES	68
5.2.	RECOMENDACIONES	69

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

LISTADO DE FIGURAS

Figura No. 1.1 Historia del Ford modelo T y la cadena de montaje.....	3
Figura No. 1. 2 Inversión en ciencia y tecnología en la región andina.....	5
Figura No. 1. 3 Porcentaje de inversión en ciencia y tecnología de EEUU y China.....	6
Figura No. 1. 4 Sub dotación y sobredotación de personal en una farmacia.....	9
Figura No. 1.5 Estructura del proyecto Planta de Envasado de aceites y grasas.....	13
Figura No.2.1 Tareas y Responsabilidades de la Planificación	16
Figura No.3.1 Llenadora de Botellas No. 1	31
Figura No. 3.2 Llenadora de Botellas No.2	32
Figura No. 3.3 Línea de fundas.....	333
Figura No. 3.4 Llenadora de Bidones	344
Figura No. 3.5 Llenadora de Sachet.....	355
Figura No. 3.6 Llenadora de mantecas	355
Figura No.3.7 Preparación de margarina	366
Figura No. 3.8 Línea de extracción.....	366
Figura No. 3.9 Proceso de planificación de producción de envasadora de aceites y grasas..	377
Figura No. 3.10 Eficiencia por máquina Planta Envasado 2019	40
Figura No. 3.11 Pareto de causas de horas de paros planta envasado ene 2019.....	40
Figura No. 3.12 Utilización capacidad planta envasado.....	42
Figura No. 3.13 Histórico de ventas ítem 1	444
Figura No. 3.14 Histórico de ventas ítem 2	444
Figura No. 3.15 Histórico de ventas ítem 3	455
Figura No. 3.16 Histórico de ventas ítem 4	455
Figura No.3.17 Histórico de ventas ítem 5	455
Figura No.3.18 Histórico de ventas ítem 10	466
Figura No.3.19 Histórico de ventas ítem 13	466
Figura No.3.20 Histórico de ventas ítem 17	466
Figura No.3.21 Horas sobretiempo enero 2020	488
Figura No 3.22 Flujograma planificación de producción y mano de obra.....	52
Figura No. 3.23 Flujograma planificación de producción y mano de obra parte A.....	53
Figura No. 3.24 Flujograma planificación de producción y mano de obra parte	53
Figura No. 4.1 Comparativo de ventas 2018-2019-2020.....	64

LISTADO DE TABLAS

Tabla 3. 1 Plantilla de personal asignado a cada envasadora -----	30
Tabla 3.2 Maquinaria disponible y dotación de personal por equipo por presentación -----	30
Tabla 3. 3 Plan semanal de producción línea de fundas -----	38
Tabla 3.4 Plan semanal de producción línea de mantecas -----	39
Tabla 3.5 Plantilla de personal asignado por turno por línea -----	39
Tabla 3. 6 Pareto de causas paro planta envasado ene 2019 -----	41
Tabla 3.7 Porcentaje de utilización capacidad planta envasado -----	41
Tabla 3.8 Porcentaje de utilización por equipo planta envasadora 2019 -----	42
Tabla 3. 9 Histórico de ventas año 2018 -----	43
Tabla 3. 10 Histórico de ventas 2019-----	44
Tabla 3.11 Pronóstico ventas 2020 -----	47
Tabla 3. 12 Presupuesto de ventas 2019 -----	48
Tabla 3. 13 Presupuesto de ventas 2019 -----	49
Tabla 3. 14 Variables de decisión modelo matemático -----	50
Tabla 3. 15 Parámetros -----	50
Tabla 4.1 Líneas de envasado, items asociados, personal asignado y setup-----	54
Tabla 4.2 Plan de producción mensual año 2019 -----	Error! Bookmark not defined.5
Tabla 4.3 Personal necesario, turnos disponibles y capacidad por máquina -----	Error! Bookmark not defined.6
Tabla 4.4 Plan maestro de producción semana 1 -----	Error! Bookmark not defined.7
Tabla 4.5 Plan Maestro de producción semana 2 -----	Error! Bookmark not defined.7
Tabla 4.6 Planificación de mano obra necesaria -----	Error! Bookmark not defined.8
Tabla 4.7 Días necesarios para cumplir el plan de producción mensual	Error! Bookmark not defined.8
Tabla 4.8 Planificación diaria de mano obra necesaria plan propuesto	Error! Bookmark not defined.9
Tabla 4.9 Plan de utilización de maquinaria en días -----	60
Tabla 4.10 Plan producción y mano de obra día 23 mes 1 -----	61
Tabla 4.11 Planificación diaria de mano obra necesaria plan óptimo-----	62
Tabla 4.12 Comparativo costos de plan propuesto vs plan óptimo-----	63
Tabla 4.13 Cumplimiento Plan de Producción mes 1- -----	63
Tabla 4.14 Días de producción planificados mes de abril 2020-----	64
Tabla 4.15 Costo de horas extras planificación de abril 2020-----	65
Tabla 4.16 Días planificados con nueva plantilla de mano de obra para contratar-----	66
Tabla 4.17 Costo de horas extras planificación No 2-----	66
Tabla 4.18 Comparativo de costos de horas extras de plan 1 vs plan 2 -----	67
Tabla 4.19 Requerimiento de mano de obra mensual-----	67

CAPÍTULO 1

1. GENERALIDADES

En un mundo globalizado la competencia entre empresas se ha vuelto mucho más feroz que en el pasado por lo que es práctica común que los administradores de la empresa inviertan cada año en innovación de su tecnología y en la capacitación del recurso humano. Todos, desde los mandos gerenciales, las diferentes jefaturas que se reportan a ellas, hasta los trabajadores con mayor o mínima experiencia, en algún momento de su vida profesional, son partícipes de cursos de actualización de conocimientos.

Algunas de esas nuevas prácticas son asimiladas con mucho fervor por los asistentes a estos cursos para luego ser implementadas eficientemente, en otras ocasiones, lamentablemente, la gerencia considera improcedente la implementación de nuevas prácticas, sea por cuestiones monetarias o simplemente porque según el punto de vista de algunos gerentes, como dice el refrán, “si no está roto no lo arregles”.

En el Ecuador, es común que las prácticas gerenciales tradicionales dominen la toma de decisiones de las empresas, sea en cuanto a distribución, producción, oferta de servicios, adquisición de nuevas tecnologías, inversión en educación, etc. Mientras en los países más desarrollados, es práctica común la aplicación de modelos matemáticos para la toma de decisiones, en el Ecuador este proceso enfrenta una fuerte resistencia. No se valoran o no se reconocen los grandes beneficios que la ciencia matemática y la investigación de operaciones puede aportar a la optimización de los procesos y la reducción de costos para de esta manera ser más competitivos.

El presente proyecto de titulación se enfoca en el área de la producción, específicamente en el proceso de envase de aceites comestibles y grasas como mantecas y margarinas para uso industrial y busca mediante la aplicación de modelos matemáticos ayudar en el proceso de toma de decisiones para determinar el número de unidades a producir y envasar de determinados productos mientras se

asigna un número óptimo de trabajadores para producir los bienes requeridos y satisfacer la demanda. La Utilización mensual de los activos productivos de la empresa promedia entre el 50 y 75 % es decir que cuenta con una capacidad de producción que sobrepasa su demanda de consumo pero no tiene una planificación de producto terminado que considere de manera óptima la reducción de tiempos muertos por limpiezas o cambios de formatos repetitivos, así como la distribución y asignación de la mano de obra disponible para cumplir con el plan mensual pues tiene una plantilla contratada de 102 personas, mientras que para utilizar el 100 % de todos sus equipos productivos requeriría de 132 personas que no son necesarias durante todo el mes o durante todo el año por lo que en muchas ocasiones para entregar un producto de manera urgente de una máquina específica se debe sacrificar la producción de otros productos de otra máquina dependiendo de los requerimientos de la demanda.

Se espera que la aplicación de estos modelos matemáticos logre los beneficios esperados, minimizando costos y cumpliendo con la demanda estimada de los consumidores, evitando tanto los períodos de escasez de mano de obra calificada como los períodos de exceso.

De esta forma, la toma de decisiones en el proceso productivo aportará grandes beneficios a la empresa, asegurando un uso óptimo del recurso humano y de maquinaria.

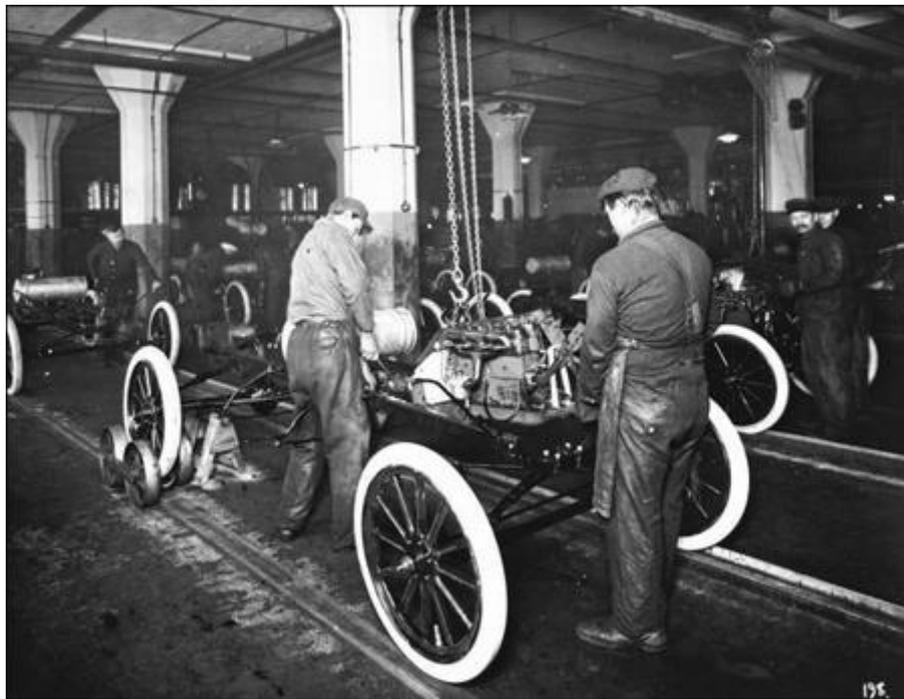
1.1. Antecedentes

1.1.1. La revolución industrial y la optimización de la producción

Desde el inicio de los tiempos el hombre se ha caracterizado por encontrar formas diferentes de satisfacer sus necesidades, así descubrió el fuego, la rueda, la máquina de vapor, la bombilla eléctrica, en fin, una interminable lista de descubrimientos tecnológicos motivada por su increíble capacidad de desarrollar soluciones a los problemas que le afectan. Es así como uno de los grandes cambios históricos que originó el desarrollo acelerado de la humanidad fue la llamada revolución industrial. Algunos autores indican que hasta el momento se puede hablar de 4 revoluciones industriales y cada una de ellas ha marcado los cimientos

de los procesos de optimización de la producción. Después de la revolución industrial el mundo jamás volvió a ser el mismo (Allen, 2009).

Pasar de fabricar artesanalmente o a mano un artículo a fabricarlo con una máquina en menor tiempo incrementó los volúmenes de producción y el desarrollo de los países. En el mismo lineamiento de mejorar u optimizar la producción, aparece uno de los casos más reconocidos mundialmente, la línea de ensamblaje del modelo T de Henry Ford, donde se dice que la producción en masa de este modelo de vehículo fue tan efectiva que se llegaron a producir entre 100 a 1000 vehículos del modelo T en un día, ver Figura 1.1



*Figura No. 1.1 Historia del Ford modelo T y la cadena de montaje
Autor. Página Web Motorpasion.com*

Se podría considerar a Henry Ford como uno de los pioneros en la búsqueda de la optimización de los procesos de producción. Se dice que llegó a la conclusión que, si lograba reducir el número de pasos diarios de sus trabajadores en la línea de ensamblaje, entonces sería posible generar un ahorro significativo a finales de año (Goss, 2018).

Esta visión para revisar los procesos de producción le permitió optimizar el proceso de producción de su vehículo insignia, el modelo T de tal forma que redujo los

costos y el precio del vehículo se redujo en un 64.71%, aproximadamente, siendo que para el 1908 el modelo T tenía un precio de venta de \$850 mientras que para 1925 el precio se redujo a cerca de \$300 (Goss, 2018).

El deseo de optimizar los procesos de producción continúa aún vigente y en plena era tecnológica donde las computadoras dominan cada aspecto de nuestra vida, los procesos productivos y el uso de recursos pueden ser administrados mucho mejor (Rahmani, 2015).

1.1.2. La investigación de operaciones en la industria

La investigación de operaciones tiene sus orígenes en la Segunda Guerra Mundial (Nag, 2014), cuando debido a la necesidad logística de las operaciones militares, se hizo evidente la necesidad de un grupo de trabajo conformado por especialistas para:

- Diseñar estrategias contra los submarinos enemigos.
- Administrar apropiadamente un conjunto de vehículos terrestres o marítimos (convoy).
- La instalación óptima de sistemas de radares, entre otros.

Paulatinamente, esta ciencia se fue adentrando en el mundo en todos sus campos, siendo su primer punto de partida las operaciones logísticas para posteriormente ser parte del proceso de toma de decisiones en los negocios, las finanzas, la medicina, el transporte, etc. Tomando en consideración las restricciones del entorno y utilizando herramientas matemáticas como los algoritmos para darle solución a un sinfín de problemas en todos los ámbitos de la administración de recursos.

1.1.3. Inversión en ciencia y tecnología

En los últimos años se ha convertido en una tendencia global la necesidad de establecer un departamento de Investigación de operaciones. Empresas como Fedex, han aplicado exitosamente los métodos científicos a sus operaciones diarias y en las ocasiones en que estos métodos no se aplicaron en la toma de decisiones, el análisis posterior reveló que la empresa operó de manera ineficiente (Bell&Anderson, 2002). Esto es mucho más evidente en los países más

desarrollados. Bancos, Aseguradoras, Financieras, Empresas de Manufactura, Hospitales y casi todo tipo de negocios pueden hacer uso de la Investigación de Operaciones en su día a día. Lamentablemente, el costo de su implementación y aplicación es visto como un gasto y no como una inversión para generar ahorro en los costos de operación. No se evalúa la relación costo-beneficio principalmente en los países con poco desarrollo tecnológico.

En el país, son escasas las estadísticas de aplicación de modelos matemáticos a las operaciones, sea esto en el área de producción, logística o transporte. Para el año 2015 se decía que, en cuanto a la aplicación de métodos de investigación de operaciones en las áreas de Logística y Transporte, el avance era básicamente ínfimo y la inversión en las instituciones de Ciencia y Tecnología de los países de la región Andina también mostraba este comportamiento, como se puede observar en la Figura 1.2. Esta falta de inversión en las instituciones de investigación dificulta la vinculación de las Instituciones de Educación Superior (IES) con la comunidad (Chicaiza&Sandoya, 2015).

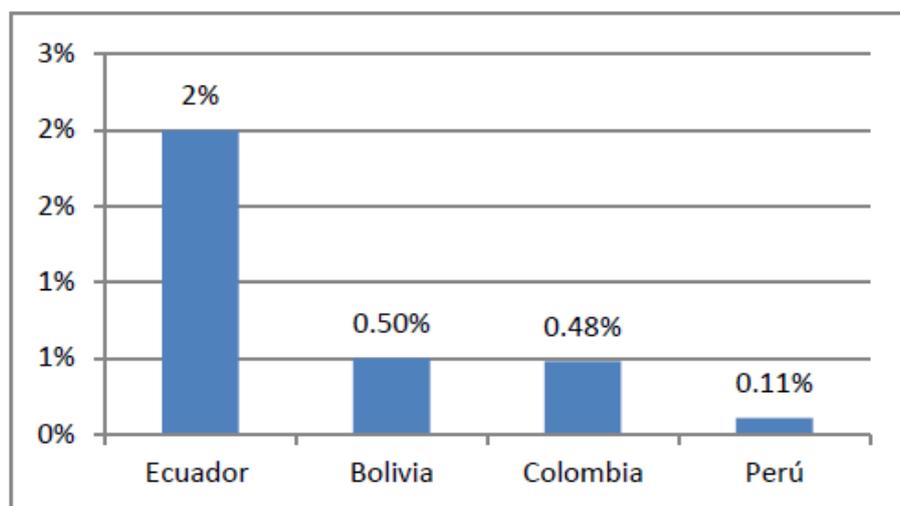


Figura No. 1. 2 Inversión en ciencia y tecnología en la región andina
Autor. Chicaiza & Sandoya, 2015

Este porcentaje es irrisorio si se considera que las potencias mundiales como Estados Unidos y China invierten más del 20% del gasto mundial en Ciencia, investigación y Tecnología, esto para el año 2017, como se muestra en la Figura 1.3



*Figura No. 1. 3 Porcentaje de inversión en ciencia y tecnología de EEUU y China
Autor. National Science Board, 2018*

Donde la inversión en Estados Unidos es del 26% que equivale a 496000 millones de dólares, mientras que en China asciende al 21%, lo que equivale a 408000 millones de dólares (Science, 2018).

Es evidente entonces que en la región andina se necesita mayor inversión en ciencia y tecnología, además se hace necesario que el número de investigaciones en estas áreas también se incremente. Pues la optimización de los recursos llámense maquinarias, materiales y mano de obra en todo tipo de negocio puede incrementar la utilidad de una empresa o en su defecto causar un sobre costo innecesario y causar pérdidas económicas.

1.2. Descripción del problema

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.

La empresa envasadora de aceites y grasas que es objeto de estudio en este proyecto, cuenta con un portafolio de productos con una amplia gama de presentaciones que requieren la utilización de la misma mano de obra y maquinaria diferente para cada presentación. El Mercado de consumo tiene una demanda regular y a veces mayor de la normal, lo que obliga a la empresa a distribuir sus recursos no siempre de manera óptima y muchas veces con sobrecostos operativos para satisfacer al cliente. Es por esto que actualmente busca aprovechar la máxima capacidad de sus máquinas para cumplir con un plan de producción cada vez más exigente, considerando que la empresa mantiene una política de austeridad en la contratación de personal. Es decir, operar con la misma plantilla de personal las diferentes máquinas y producir todas las presentaciones.

El problema radica en determinar si se necesita aumentar o disminuir el tamaño de la plantilla de personal actual, de tal manera que la empresa pueda satisfacer la demanda considerando la capacidad de la maquinaria existente y la demanda fluctuante de ventas a lo largo del año tratando de evitar despidos o contrataciones innecesarias de personal varias veces en el año.

1.3. Justificación del problema

La asignación óptima de los recursos de una empresa es un factor fundamental para que esta pueda hacer frente a sus competidores y ser capaz de ofrecer a sus clientes un producto o servicio capaz de satisfacer sus necesidades, a un precio que pueda generar la rentabilidad que la empresa necesita para seguir operando, es decir que la empresa necesita obtener una ventaja competitiva que sea sostenible (Uz-zaman&Hazan, 2014).

Al referirnos a los recursos con que cuenta una empresa para su proceso productivo se incluye en esta definición a 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 (Amadeo, 2018).

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., pero esto muchas veces puede ser desfavorable para la calidad del producto o servicio ofrecido a los clientes (Al-Sabaan&Magbool).

La planificación de la producción es una de las formas mediante la cual los administradores buscan minimizar los costos operacionales y tiene mucho sentido, pues al aplicar las estrategias de planificación avanzada se puede dar apoyo a las decisiones de utilización eficiente de la producción, distribución y las capacidades de suministro (Ivert&Jonsson, 2010).

Existen varios aspectos que se podrían tratar respecto a la minimización de los costos operacionales, sin embargo, el presente proyecto de titulación 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, pues se puede presentar un exceso o escasez de mano de obra.

Ambos casos, el exceso y la escasez de mano de obra significan que la empresa deberá incurrir en costos pues en el caso de existir exceso de mano de obra requerida para el proceso productivo la empresa deberá asumir costos innecesarios pues implica que existen individuos en reposo, en espera de realizar alguna actividad, mientras que en el caso de escasez de recurso humano es necesario

contratar, a veces urgentemente, mano de obra adicional, lo que implica la generación de costos adicionales (Fogg&Harrington, 2009). La asignación óptima del recurso humano debe considerar los turnos de trabajo, de tal manera que se puedan minimizar los escenarios de sub-dotación y sobredotación de personal, ver Figura 1.4, pues a la larga estas ineficiencias son costosas para la empresa (Rocco, 2015).

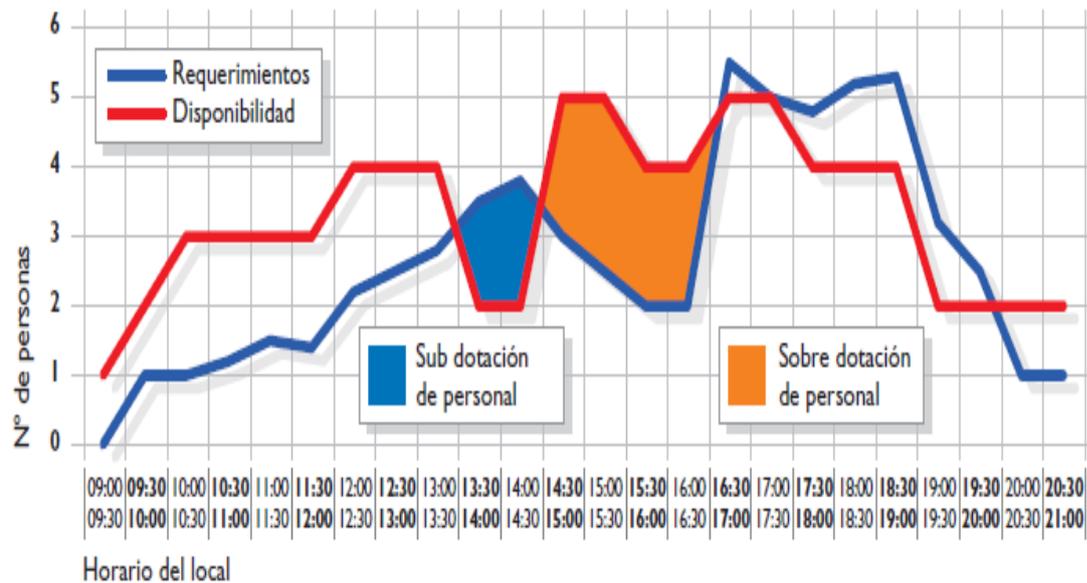


Figura No. 1. 4 Sub dotación y sobredotación de personal en una farmacia

Autor. Metodología heurística para la asignación de turnos en una farmacia (Rocco, 2015)

La aplicación del modelo matemático de asignación le permitirá a la planta envasadora de aceites y grasa de consumo alimenticio realizar una mejor asignación de sus recursos, minimizando costos, al mismo tiempo que se satisface la demanda estimada de los consumidores.

Si el problema tiene m máquinas y n operaciones entonces se convierte en un problema complejo y dependiendo de las magnitudes de m y n puede adquirir una mayor complejidad computacional, siendo considerado un problema NP-complejo lo que le impide obtener una solución óptima en un tiempo razonable.

1.4. Objetivos

1.4.1. 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 utilizando modelos matemáticos de programación entera mixta que permita el uso eficiente de los recursos, disminuyendo los costes asociados a este proceso.

1.4.2. Objetivos específicos

1. Recopilar los datos existentes sobre el cumplimiento de los planes de producción y las horas de utilización de la maquinaria asignada al proceso desde 01 enero de 2019 al 31 de diciembre de 2019.
2. Analizar la información para la identificación de las variables o restricciones que afectan el cumplimiento del plan de producción.
3. Determinar la demanda de personal para el funcionamiento de la maquinaria que permita el cumplimiento del plan de producción mensual, considerando las restricciones tales como eficiencia de máquinas, personal disponible y las funciones asignadas a cada persona dentro del proceso.
4. Diseñar un modelo de optimización de capacidad y de planificación de la mano de obra disminuyendo los costos de producción.

1.5. Alcance

El presente proyecto de titulación se enfoca en la optimización del uso de los recursos necesarios para la producción de aceites y grasas de consumo humano, buscando determinar el tamaño óptimo de estos recursos, de tal forma que se minimicen los costos operativos mensuales del proceso de envasado de la empresa.

El proyecto se desarrolla en una empresa envasadora localizada en la provincia de Manabí, Ecuador. Los datos son de propiedad de la empresa y el período de tiempo

seleccionado para realizar este estudio va desde el 01 de enero de 2019 al 31 de diciembre de 2019.

1.6. Metodología

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

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 JSSP, que quiere decir Job Shop Scheduling Problem por sus siglas en inglés.

El modelo JSSP o de flujo general de acuerdo a (Márquez, 2012) en su tesis doctoral es el siguiente:

Sets - Conjuntos

- i* Conjunto de los trabajadores.
- j* Conjunto de trabajos a realizar.
- k* Conjunto de posiciones de los trabajos.

Parámetros

- e_{ik} El tiempo de inactividad en el trabajador *i* entre el procesamiento de los trabajos en las posiciones *k* y *k + 1*.
- a_{ik} Representa el tiempo de espera del trabajo en la posición *k* entre los trabajadores *i* y *i + 1*.

Variable de decisión

- $X_{j,k}$ 1 si el trabajo *j* se realiza en la posición de trabajo *k*
0 en caso contrario.

$$\text{Min } Z = \sum_{i=1}^{m-1} \sum_{j=1}^n p_{ij} * X_{j1} + \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^n p_{mj} * X_{jk} * k^\alpha + \sum_{j=1}^{n-1} e_{mj} \quad (1.1)$$

s.a.

$$\sum_k X_{jk} = 1 \quad \forall j = 1, \dots, n \quad (1.2)$$

$$\sum_j X_{jk} = 1 \quad \forall k = 1, \dots, n \quad (1.3)$$

$$e_{ik} \geq 0 \quad \forall i = 1, \dots, m \quad \forall k = 1, \dots, m - 1 \quad (1.4)$$

$$a_{ik} \geq 0 \quad \forall i = 1, \dots, m \quad \forall i = 1, \dots, m - 1 \quad \forall k = 1, \dots, n \quad (1.5)$$

$$e_{1k} = 0 \quad \forall k = 1, \dots, n - 1 \quad (1.6)$$

$$a_{i1} = 0 \quad \forall i = 1, \dots, m - 1 \quad (1.7)$$

$$e_{ik} + \sum_{j=1}^n p_{ij} * X_{j,k+1} + a_{i,k+1} = a_{ik} + \sum_{j=1}^n p_{i+1,j} * X_{j,k} + e_{i+1,k} \quad (1.8)$$

$$X_{j,k} \in \{0, 1\} \quad (1.9)$$

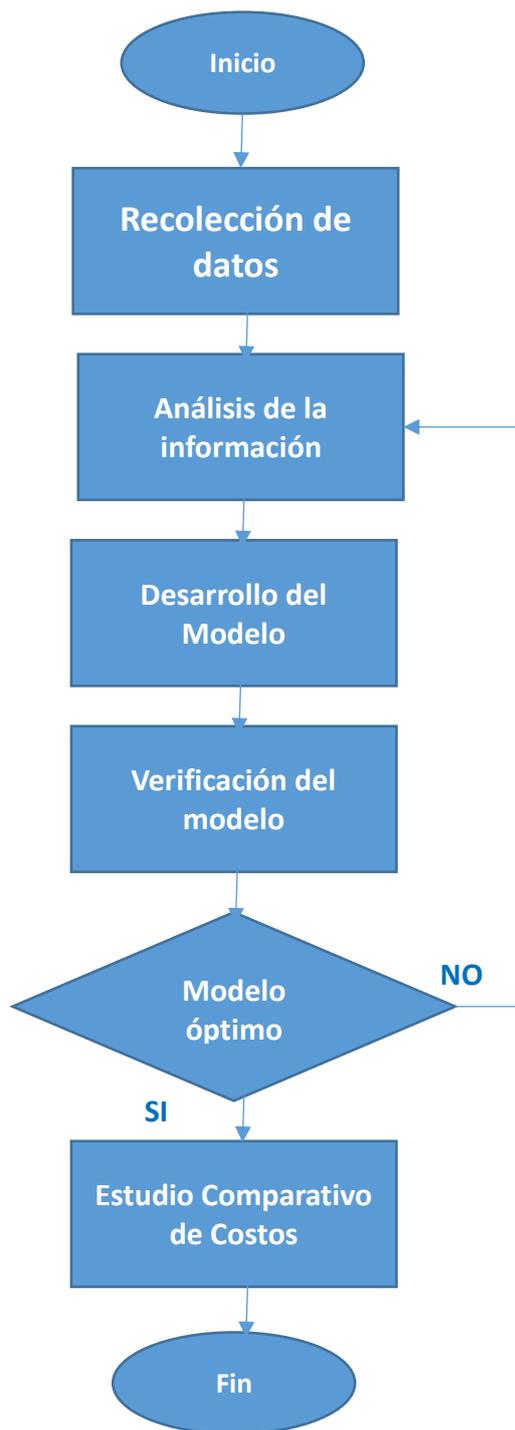
$$0 \leq \alpha \leq 1 \quad (1.10)$$

El diseño de los modelos de optimización necesita que en primer lugar se analicen los datos históricos de la demanda de los artículos. Este análisis de la demanda contempla los diferentes SKU's de la empresa agroindustrial.

Este análisis previo permite determinar la existencia o no de estacionalidad y tendencias, de tal forma que se pueda identificar el método de pronóstico más adecuado. El uso de las herramientas de pronósticos adecuadas permite realizar un pronóstico de la demanda por SKU y por presentación, para el siguiente año.

Se espera que la modelización matemática minimice el tiempo requerido para la producción de los envases y por tanto minimice los costos, permitiendo la correcta asignación de los recursos, tanto humanos como materiales al mismo tiempo que se satisface la demanda esperada de cada SKU.

1.6.1. Diagrama de flujo del desarrollo del modelo de optimización



Autor. Yadira Velastegui

Figura No. 1.5 Estructura del proyecto Planta de Envasado de aceites y grasas

1.7. Estructura del proyecto

En el primer capítulo se menciona brevemente los antecedentes de la revolución industrial y la investigación de operaciones como preámbulo para el uso de las herramientas tecnológicas que proporciona la ciencia en la resolución de los principales problemas que aquejan a las industrias. Además, se plantea el objetivo general del proyecto de investigación, su alcance y metodología.

De la misma manera, en el segundo capítulo se presenta el marco teórico y las investigaciones realizadas en lo referente a la problemática que es objeto de estudio que sirvieron como base para la elaboración del modelo de optimización.

En el tercer capítulo se incluye una revisión de la situación actual de la empresa donde se recopilan los datos históricos de 12 meses de los planes de producción, sus cambios de formatos, presentaciones y gestión de cumplimiento, eficiencia de equipos, así como el número de mano de obra asignada de las diferentes máquinas de la Planta Envasadora de aceites y grasas. También se analiza la demanda de ventas pronosticada y la venta real para el mismo periodo de tiempo, sus restricciones como la capacidad instalada en la empresa envasadora y los turnos existentes para la asignación óptima de operarios en cada máquina.

En el cuarto capítulo se analizan los resultados obtenidos con el modelo matemático desarrollado y se realiza un comparativo de los mismos frente a la situación actual de la empresa para evidenciar las ventajas y desventajas de la aplicación de este.

Finalmente, en el capítulo 5 se incluyen las conclusiones y recomendaciones del presente proyecto en función de los resultados obtenidos por el modelo matemático de optimización desarrollado. Además, se sugieren posibles mejoras a investigaciones futuras que podrían derivar de este proyecto de titulación.

CAPÍTULO 2

2. MARCO TEÓRICO

En este capítulo se revisa brevemente las bases científicas para la administración de los recursos, como la planeación de la producción, capacidades de máquinas y asignación de turnos de trabajo, así como también se analiza la literatura existente, en lo referente a la optimización de los procesos productivos y las operaciones relacionadas a la asignación de personal.

2.1. Planeación de los recursos para la producción

Todas las empresas para ser competitivas deben balancear la demanda fluctuante de sus clientes con una eficiente productividad, capacidad de maquinaria, inventarios de materiales o de producto terminado, la mano de obra necesaria e inclusive las horas extras, pero encontrar el punto de equilibrio entre eficiencia, eficacia y efectividad es necesaria la consecución de los objetivos trazados en la planeación de producción (Ingenioempresa,2020).

2.2. Planificación o programación agregada

La planificación agregada es una herramienta que permite determinar la cantidad de producto terminado que se va a producir y cuándo se va a producir a mediano plazo entre 3 o 18 meses. Su objetivo principal es minimizar el coste total durante el período de planificación. Sin embargo, otros objetivos estratégicos pueden ser más importantes que un coste reducido. Estas estrategias pueden buscar alisar las necesidades de mano de obra, rebajar los niveles de inventario o conseguir un alto nivel de servicio, y requiere de 4 elementos fundamentales:

1. Una unidad lógica global para medir las ventas y la producción. (cajas de producto terminado).
2. Una previsión de la demanda en estas unidades agregadas para un periodo de planificación razonable a medio plazo.
3. Un método para poder determinar los costes.
4. Un modelo que combine previsiones y costes.

De manera que puedan tomarse decisiones de planificación para el periodo planificado (Heizer-Render, 2007).

2.3. Proceso de planeación y control de la producción

Las previsiones de la demanda de ventas pueden estar dadas a corto, mediano y largo plazo, ayudan a decidir las estrategias a seguir, como la expansión de las instalaciones, el desarrollo de nuevos productos, la financiación de la investigación y las inversiones a realizar en un periodo de varios años, la de mediano plazo sirve para elaborar la planeación agregada de la producción mensual o trimestral con un horizonte de hasta 12 meses, a partir de esto se puede elaborar el plan maestro de producción detallado a corto plazo ya sea semanal o mensual y programar todas las actividades productivas. En la figura 2.1 se visualizan las tareas de planificación su horizonte y de quienes es la responsabilidad de ejecutarlas por niveles jerárquicos (Heizer-Render, 2007).



Figura No.2.1 6 Tareas y Responsabilidades de la Planificación

Autor. Dirección de la Producción y Operaciones Heizer-Render

2.4. Pronóstico de la demanda

Un pronóstico de demanda es una estimación cuantitativa de las cantidades de un producto o servicio que serán requeridas por el mercado en ciertos periodos en el futuro y son la primera entrada que necesita la planificación de la producción para administrar todos sus recursos, dependiendo de su temporalidad si es de corto, mediano o largo plazo, las compras, inventarios, programación y transporte también los serán. Por lo que es muy importante conocer el comportamiento de la demanda en un periodo de tiempo determinado para pronosticar el mejor escenario posible y permite a las empresas reaccionar con rapidez ante los cambios futuros (Logística México, 2014).

2.5. Plan Maestro de producción

Dada la previsión de la demanda, la capacidad instalada, los niveles de inventario, la plantilla de personal y las restricciones de producción, el planificador tiene que seleccionar la tasa (volumen) de producción de las líneas durante los próximos 3 a 18 meses. Se establece un programa de producción por referencias y productos en cada maquinaria. El período del plan maestro dependerá de la confiabilidad del pronóstico de la demanda, la capacidad y flexibilidad del sistema de producción y los imprevistos que se presenten, las políticas de inventario de seguridad que estén establecidas. (Muñoz Negrón, 2009).

2.6. Planeación de la capacidad de producción

La capacidad de producción de una planta está dada por el número de equipos o maquinaria disponible cada una con una capacidad finita de unidades productivas por unidad de tiempo afectada por su eficiencia y su utilización (Anaya, 2007).

$$\text{Capacidad disponible} = (\# \text{ máquinas}) \times (\# \text{ de turnos de trabajo}) \times (U) \times (E) \quad (2.1)$$

La utilización de los equipos está dada por las horas productivas sobre las horas reales de un turno de 8 h o una jornada laborable. Donde NH son horas productivas y NHR son horas reales:

$$U = NH / NHR \quad (2.2)$$

La eficiencia es el desempeño de un equipo o de una máquina para realizar un trabajo Se calcula de la siguiente forma:

$$E = (\# \text{ de unidades} \times \text{Tiempo de carga unitario}) / \text{Tiempo productivo empleado} \quad (2.3)$$

2.7. Opciones de capacidad

Las posibles opciones sobre la capacidad de producción que una empresa puede tomar de acuerdo con lo que sugiere (Heizer-Render, 2007) son:

1. *Cambiar los niveles de inventario.* Se puede aumentar el inventario durante los periodos de baja demanda para hacerle frente a una demanda alta futura, aunque esto incrementa los costes asociados al almacenamiento, seguros, manutención, obsolescencia, robos y capital invertido. Estos costes pueden llegar a incrementar hasta en un 40 % el valor de un artículo en el año. Por otro lado, la rotura de stock en periodos de alta demanda puede provocar pérdida de ventas debido a los plazos largos de entregas y generar un peor servicio al cliente.
2. *Variar el tamaño de la plantilla contratada.* Otra forma de hacer frente a las fluctuaciones de la demanda es contratar o despedir a los empleados operativos para ajustar la tasa de producción. Pero una de las desventajas más grandes es la baja productividad del personal nuevo pues su curva de aprendizaje es lenta. Los despidos traen consigo la incertidumbre del personal afectado psicológicamente y también se evidencia como baja productividad.
3. *Variar los volúmenes de producción mediante horas extras o aprovechando las horas de inactividad.* Se puede mantener constante la mano de obra generando las horas extras necesarias para aumentar la capacidad de producción. Esto trae consigo consecuencias con el aumento de los costes de producción y el agotamiento del personal que también resulta en baja productividad. Y en temporadas bajas amortiguar el tiempo inactivo de una plantilla fija puede ser muy difícil de balancear.
4. *Subcontratar.* Se puede también subcontratar la capacidad temporal de trabajos a otras empresas en periodos de picos de demanda. Como

maquilas. A un coste muy alto y corriendo riesgos de darle la llave a un competidor.

5. *Utilizar empleados a tiempo parcial.* Esta opción puede ayudar a cubrir necesidades de mano de obra temporal no calificada.

Las empresas deben realizar el análisis de cuál o cuáles estrategias se ajusta mejor a sus necesidades de producción para poder tener producto disponible a tiempo y a un bajo coste y lograr la optimización de todos sus recursos.

2.8. Programación de la producción

Encontrar un plan de producción óptimo balanceando la demanda fluctuante y las diferentes estrategias de opciones de capacidad, no es tarea fácil. A menudo las empresas utilizan cada año el mismo plan haciendo ajustes de acuerdo con el incremento o disminución de esta demanda. Para desarrollar estos programas óptimos se pueden utilizar desde tablas y gráficos hasta programación lineal. Considerando las principales variables como la demanda por periodo y sus restricciones como la capacidad de producción vs su jornada laboral o con horas extras y las demás mencionadas en el numeral 2.7 visto anteriormente (Heizer-Render, 2007) .

2.9. Asignación de turnos

La asignación de tareas o trabajos a las máquinas o personas tiene como objetivo disminuir el tiempo necesario y el costo asociado a dicha tarea. Sólo asigna un trabajo a una máquina o a una persona para no sobrecargar el proceso de producción, el no conocer la capacidad y el rendimiento provoca una reducción de la producción (Heizer-Render, 2007).

2.10. Secuenciación de productos

Luego de asignar las tareas a cada centro de trabajo, maquinaria o equipo se debe determinar el orden de realización de dichos trabajos a esto se lo conoce como secuenciación y deben considerar sus restricciones o reglas de prioridad. De acuerdo con (Heizer-Render, 2007) : las reglas de prioridad minimizan el tiempo de

finalización de los trabajos, el número de trabajadores en el sistema y el retraso de los trabajos, al mismo tiempo que maximiza la utilización de los equipos o instalaciones.

2.11. Programación lineal para la toma de decisiones

La planificación o programación de tareas en las líneas de producción de una fábrica es una de las aplicaciones más importantes de la programación lineal. Las empresas a menudo planifican sin la evaluación de los costes de la ejecución o el orden en que son asignados los trabajos en un proceso de manufactura. Por lo que la optimización del proceso de planificación implica elaborar un método o modelo matemático de programación para la secuenciación de tareas o procesos.

La búsqueda de las empresas por minimizar los costes o maximizar las ganancias ha hecho posible que se desarrollen nuevas técnicas y sus aplicaciones son diversas así lo detalla (Puente, 2018):

1. Planeación de Operaciones para encontrar el plan de producción con el costo mínimo considerando las restricciones como la capacidad y la fuerza laboral, así como las variables de contratación y posibles despidos.
2. Planeación de productos como las mezclas de productos farmacéuticos, químicos y alimenticios.
3. Rutas de productos definiendo el camino más eficiente y menos costoso para fabricar un producto en secuencia que pasa por diferentes centros de trabajo o maquinaria con sus propias características de producción.
4. Control de procesos para minimizar los desperdicios de fabricación.
5. Control de Inventarios definiendo la cantidad necesaria a tener almacenada.
6. Asignación de personal.
7. Planificación de Transporte y Programación de distribución de despachos de productos a diferentes destinos.

2.11.1. Componentes de un modelo de programación lineal

Está compuesto por tres elementos: variables, función objetivo y restricciones, de acuerdo con (Suñé, 2016) en su libro de programación lineal.

Las variables pueden ser:

- ✓ *Variables de decisión* que miden la magnitud que se desea optimizar.
- ✓ *Variables auxiliares* que miden las magnitudes que tienen sentido en el problema y dependen de las variables de decisión.

Cada variable debe tener su magnitud y unidad de medida (metros o personas) y su naturaleza matemática (entera, binaria, no negativa).

La *función objetivo* es la expresión matemática que representa la relación entre las n variables definidas con el valor a optimizar o minimizar Z .

Las *restricciones* determinan el conjunto de valores posibles para las variables de decisión. La solución óptima del modelo deberá encontrarse dentro de la región factible que deberá poder cumplir con todas las restricciones enunciadas.

De acuerdo con (Puente, 2018) para la toma de decisiones, el problema de programación lineal crea un proceso de optimización en el cual se eligen valores no negativos de una serie de variables de decisión de modo que maximicen o minimicen una función objetivo, cuya fórmula es la siguiente:

$$\text{Max ó Mín } Z = C_1 X_1 + C_2 X_2 + C_n X_n \quad (2.4)$$

Sujeto a las restricciones:

$$A_{m1} X_1 + A_{m1} X_2 + \dots + A_{mn} X_n < B_m \quad (2.5)$$

Dónde:

C_m , A_m y B_m son constantes dadas, las restricciones se pueden expresar con signos de igualdad o mayor o menor o igual que.

2.12. Job Shop Scheduling Problem

El Job Shop Scheduling Problem (JSSP) programa temporalmente las tareas u operaciones que descomponen un conjunto de trabajos en varias máquinas considerando que cada máquina sólo puede ejecutar 1 tarea a la vez para encontrar

alguna planificación factible que optimice el desempeño minimizando los tiempos muertos o maximizando la utilización de los equipos (Márquez, 2012).

2.13. Estado del arte

El modelo Job Shop Scheduling o JSSP es un problema típico de la investigación de operaciones. Existen múltiples variaciones de este modelo y su aplicación va desde la planificación en un determinado período de tiempo, sea este semanal, mensual o anual, algunos estudios se enfocan en situaciones específicas como ambientes “Make to order” y otros en ambientes “Make to stock”, unos estudios utilizan programación lineal entera mientras otros dan preferencia a la utilización e algoritmos híbridos, entre otras variaciones presentes en la literatura.

El modelo JSSP es por tanto muy versátil y por esta característica se puede referir a algunas aplicaciones como las que se detallan a continuación.

2.13.1. Job shop scheduling flexible en un ambiente make to order

En el paper “Mixed Integer Lineal Programming Model to Schedule Flexible Job-Shop Systems in Make to Order Environments” (Gaitán&Ruiz, 2017), los autores plantean resolver el problema de la optimización de la programación de las órdenes de producción en una empresa de empaques de caucho en la ciudad de Bogotá, Colombia. Antes del estudio, los autores empiezan señalando que la empresa no contaba con procedimientos establecidos, sino que las órdenes de producción eran tratadas conforme a la llegada de los clientes, es decir que eran tratadas siguiendo la regla de despacho FIFO, lo que provocaba que existiera un gran número de trabajos pendientes y por consiguiente una alta demanda insatisfecha. Los autores plantean un modelo de programación lineal que busca minimizar el número de trabajos tardíos, considerando entre sus restricciones el tiempo requerido para completar los trabajos, la tardanza esperada de cada trabajo, la precedencia de las operaciones, el inicio de las operaciones de acuerdo con la disponibilidad de las máquinas, entre otras restricciones. Los resultados obtenidos por la aplicación del modelo matemático mejoran los tiempos de entrega de los pedidos de los clientes y se obtuvieron resultados óptimos en instancias pequeñas e intermedias, mientras

que, en problemas de gran escala, debido a la complejidad del sistema, se obtuvieron soluciones factibles.

2.13.2. Modelo matemático del problema de planificación de fuerza laboral

En el paper “Mathematical model of workforce scheduling problem in flow shop with makespan minimization” (Sánchez&Montoya, 2015), los autores proponen un modelo de programación entera mixta para minimizar el tiempo total requerido para ejecutar un trabajo. En el modelo consideran los tiempos de procesamiento de los trabajos realizados por cada trabajador, los tiempos de espera hasta que los trabajadores puedan iniciar los trabajos y los tiempos de ocio entre los trabajos procesados por cada trabajador.

Uno de los elementos a considerar en la optimización de los recursos de una empresa manufacturera es la participación del ser humano en cada uno de los procesos de la cadena de producción. Existen diversos puntos de vista, pero es innegable que la participación del ser humano en la administración de operaciones es fundamental.

Los resultados indican que el modelo matemático propuesto por los autores es capaz de encontrar, en un tiempo razonable, los valores óptimos para el tiempo total requerido para ejecutar un trabajo, en especial si se consideran instancias en las cuales existen pocos trabajadores y pocos trabajos por realizar, sin embargo, el modelo no puede alcanzar valores óptimos para escenarios de mayor tamaño, sin embargo, en estos casos es capaz de encontrar soluciones relativamente buenas.

2.13.3. Optimización de la producción en una línea de manufactura

En la tesis “Optimización de la producción de una línea de manufactura mediante un modelo matemático” (Zamarripa, 2013), el autor propone un modelo matemático que considera las líneas de ensamble, las familias de productos a ensamblar, los días de la semana, los inventarios del proceso, la penalización por uso de horas extras, entre otras variables, para determinar la cantidad de producto a elaborar de una

determinada familia en un determinado día con el objetivo de maximizar el uso del tiempo libre en las líneas de ensamble y en los probadores.

En el caso de una línea de manufactura se debe tener especial cuidado en cada uno de los procesos que en conjunto conforman un sistema. Para alcanzar los niveles óptimos de producción se necesitan considerar las horas normales de ejecución de los procesos, así como las horas extras que se consideran necesarias para cumplir con los objetivos de producción y así satisfacer a la demanda.

Los resultados obtenidos por la aplicación del modelo matemático propuesto proporcionan un plan maestro a seguir, mismo que comparado con el método manual tradicionalmente utilizado logra estandarizar la producción y minimizar los tiempos de procesos.

2.13.4. Programación de horarios de enfermería

En el paper “Minimizing the Makespan in a Flow Shop Scheduling Problem with Sequence-Dependent Setup Times and Periodic Maintenance by a Hybrid Algorithm” (Gholizadeh&Tavakkoli-moghaddam, 2012), los autores proponen un modelo matemático híbrido para minimizar los tiempos de proceso o makespan del sistema. Para este efecto consideran tres problemas de evaluación para poder aplicar el modelo matemático. El modelo considera como entradas la disponibilidad de las máquinas, los horarios de mantenimiento de las máquinas, el tiempo de finalización de cada trabajo en cada máquina, la secuenciación de los trabajos y las relaciones de las variables binarias. Los resultados obtenidos en el estudio indican que el desempeño del algoritmo híbrido es eficiente y los resultados, en comparación con modelos matemáticos de algoritmos genéticos mostraron desviaciones menores con respecto a los resultados promedios de la función objetivo. Además, los autores indican que un punto importante de este modelo híbrido es que se considera tiempos de setup dependientes de la secuencia y la no disponibilidad de maquinaria, lo que en conjunto representa una contribución significativa para el problema clásico Flow shop scheduling.

2.13.5. Optimización de la planeación de la producción

En la tesis de maestría “Modeling and Optimizing of Strategic / Tactical Production Planning Problems” (Uppala, 2016), el autor aborda ampliamente el tema de la planeación, recalcando que esta es muy importante en la consecución de los objetivos que toda organización podría plantearse. La planeación estratégica coordina el plan de producción con los planes globales y las estrategias de toda la organización.

El autor plantea un modelo matemático que considera el conjunto de la demanda, el conjunto de los turnos disponibles, la capacidad instalada, el conjunto de instalaciones, los costos fijos y variables de la producción, así como los costos de oportunidad por la escasez de la unidad de producto p proveniente de la instalación f en el período t y demás parámetros y variables. El modelo logra producir las unidades requeridas para satisfacer la demanda al mismo tiempo que se mantienen bajos los costos fijos y variables, es decir que se logra minimizar los costos.

2.14. Procedimientos Heurísticos

Los problemas de planificación han encontrado en los procedimientos heurísticos un vasto campo de aplicación. (Delgado, 2012).

- Cuando las limitaciones de tiempo, espacio, entre otros, conducen a la utilización de métodos de respuesta rápida aunque sea a costa de la precisión.
- Cuando no se puede aplicar un método exacto para la resolución de un problema, por no existir o porque requiere demasiados recursos (tiempo, memoria, presupuesto, entre otros).
- Como un paso intermedio para la aplicación de otros algoritmos, muchas veces la solución aportada por un método heurístico es tomada como punto de partida para otros procedimientos metaheurísticos.

Existen procedimientos de secuenciación en líneas de montaje de productos mixtos como las de las ensambladoras de automóviles, estos son un medio que permite

producir grandes cantidades de un producto en diferentes versiones, sin necesidad de hacer grandes esfuerzos en cambios de modelos y permiten además reaccionar rápidamente a los cambios en las demandas de los clientes. Esta distinción entre versiones no sólo repercute en la apariencia de la variante, sino también en las cargas de trabajo generadas en las estaciones de la línea dedicadas a la incorporación de opciones especiales o valores de los atributos. Así, una vez que la línea ha sido equilibrada y se ha obtenido un tiempo de ciclo, es necesario determinar el orden en que los diferentes modelos deben de entrar en la línea de montaje de acuerdo a cierto criterio. Dado que el tiempo de ciclo es un promedio ponderado de tiempos de procesamiento de todas las tareas necesarias para montar un producto, existirán tareas con alto y bajo contenido de trabajo, las cuales deben controlarse para evitar sobrecargas y tiempos muertos en la línea. (Juan Bautista, 2007).

Otra propuesta ante esta problemática es la de Yano y Rachamadugu, donde exponen un modelo de programación lineal para el problema, teniendo como objetivo maximizar el trabajo completado (equivalente a la minimización del trabajo perdido o sobrecarga). Los autores miden el trabajo perdido en unidades de tiempo. Como unidad de tiempo se tiene el tiempo de ciclo de fabricación c (tiempo entre llegadas de dos unidades consecutivas en la estación). (Yano C., 1991)

(Bolat & Yano, 1989) Sugieren un grupo de procedimientos de secuenciación, en uno de sus primeros trabajos tienen como objetivo la minimización de la sobrecarga. Realizan una revisión sobre algoritmos para secuenciación en cadenas de velocidad constante y proponen una heurística prospectiva o un procedimiento que se basa en el concepto de reglas de espacios. Se crean sub-secuencias que procuran que el trabajador finalice en la misma posición de la estación en la que inició la sub-secuencia. De este modo se establecen patrones con trabajo de refuerzo (utilitario) y tiempo inhábil igual a cero. El resto de las unidades se secuenciarán distribuyéndolas por toda la secuencia, dando preferencia a su ubicación al final de la misma. Los procedimientos brindan soluciones óptimas en determinadas circunstancias como en los programas muy descargados o muy sobrecargados.

(Bolat & Yano, 1989) Proponen dos algoritmos greedy. El primero es óptimo para el mismo objetivo, pero únicamente para determinadas proporciones de productos con opción sobre el total. Este algoritmo consiste en secuenciar un producto con opción (si éste existe) mientras no genere sobrecarga, en caso contrario secuenciar un producto básico y, si no existiera, se toma un producto con opción. El segundo algoritmo greedy incorpora a la función de selección anterior la condición de no secuenciar un producto básico si genera tiempo inhábil o tiempo improductivo del trabajador. Los autores utilizan la programación dinámica para evaluar en qué condiciones es útil cada heurística.

(Bolat & Yano, 1989) Ensayan un grupo de procedimientos para determinar secuencias que minimizan el trabajo utilitario en una estación con dos tipos de trabajo, a tales procedimientos se les denomina algoritmo up-down. Dentro del algoritmo se tienen tres procesos. El primero busca una sub-secuencia perfecta, en la que no hay sobrecarga, ni ocio y además el sistema regenera. Otro procedimiento usado es greedy y evita producir sobrecarga mientras ello sea posible. Similarmente, un tercero evita incurrir en tiempo improductivo mientras ello sea posible. Según las características de la instancia, los algoritmos pueden obtener una solución óptima o cercana al óptimo. No se consideran los procedimientos basados en reglas de espacios porque se asumen que existe un ciclo de regeneración “perfecto”.

De acuerdo a Fabio Vicentini y Susana Pudu en su trabajo de investigación Algoritmos heurísticos y el problema de job shop scheduling distinguen entre dos clases principales de algoritmos de aproximación: constructivos (constructives) y de búsqueda local (local search). (Padu, 2003). Hay muchas aplicaciones particulares de búsqueda local pero todas descansan sobre la utilización del concepto de entorno (neighborhood), el cual es usado para guiar la búsqueda iterativa hacia buenas soluciones. El uso de la búsqueda local en problemas de optimización combinatoria se remonta a 1950 cuando surge el primer algoritmo de intercambio de arcos (edge-exchange) para resolver el problema del viajante (travelling salesman problem). En los años subsiguientes el alcance de la búsqueda local se amplió hasta incluir aplicaciones a problemas de toda índole. Muchas variantes de búsqueda local han sido propuestas basadas en analogías con procesos de la

naturaleza, como simulated annealing (templado simulado), genetic algorithms (algoritmos genéticos) y algunos ejemplos de neural networks (redes neuronales). El incremento de recursos de cómputo de los ordenadores y la sofisticación de las estructuras de datos han posibilitado empleo de estos algoritmos para resolver complejos problemas de la vida real. Se han modelizado matemáticamente y obtenido consistentes resultados teóricos en cuanto a su complejidad y eficiencia.

(Tsai, 1995) Analiza el problema de secuenciación de mezcla de productos con tiempo de ciclo preestablecido y tiempos de procesamiento deterministas. Minimiza dos objetivos el riesgo de paro de la línea y el trabajo en exceso total. Ambos problemas son del tipo NPhard. Para una sola estación y dos tipos de productos (con o sin opción), el algoritmo propuesto por Tsai genera una secuencia en $O(\log N)$ que es óptima para los dos objetivos. Como resultado de minimizar el trabajo incompleto, el algoritmo minimiza el tiempo inhábil total entre la llegada del primer producto y la salida del último. Los valores de la función objetivo del caso de una sola estación pueden usarse como cotas inferiores para facilitar el desarrollo del algoritmo para problemas de múltiples criterios, y múltiples estaciones. El algoritmo también puede usarse para analizar los efectos en los cambios en la longitud de la estación sobre el riesgo de paro del transportador, el trabajo incompleto y el tiempo inhábil. El autor toma en cuenta la velocidad de desplazamiento del trabajador desde un producto hasta el siguiente.

CAPÍTULO 3

3. DESARROLLO DE METODOLOGÍA

En este capítulo se incluye la información necesaria para el desarrollo del modelo:

- Estudio de la situación actual de la Empresa. Plantilla estándar de personal y dotación de mano de obra necesaria para cada presentación.
- Descripción del flujo de proceso con el número de equipos que participan y su capacidad de producción, las personas asignadas para cada máquina.
- Revisión del proceso actual de planificación de producción, la eficiencia operacional, la utilización real de sus equipos y el cumplimiento de sus planes productivos.
- Recopilación de datos históricos de ventas por SKU.
- Elaboración del pronóstico de ventas por SKU para 2020.
- Formulación de modelo matemático.
- Desarrollo y funcionamiento de la heurística.

3.1. Situación actual de la empresa

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 3.1

Tabla 3. 1 Plantilla de personal asignado a cada envasadora

Líneas de Producción	# 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
Total			102

Fuente. - Planta Envasadora de aceites y grasas

Así mismo la dotación de personal por línea varía de acuerdo con las necesidades de las referencias a producir y a la máquina que se deba usar pues no todas las presentaciones se producen en la misma máquina y cada una tiene su capacidad de producción y dotación de personal específica como se detalla en la tabla 3.2, donde 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 3.2 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.3	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
Total de personas necesarias por presentación					147

Fuente. - Planta Envasadora de aceites y grasas.

3.2. Flujos de procesos, personal asignado y capacidad de producción.

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.

Llenadora de botellas No.1 - En esta máquina envasadora de botellas se puede trabajar a 90 uds/min si su dotación de personal es de 9 personas como se muestra en figura 3.1 y a 70 uds/min si su dotación es de 7 personas disminuyendo una en las actividades de alimentación de botellas y paletizado.



Figura No.3.1 Llenadora de Botellas No. 1
Fuente. - Planta envasadora de aceites y grasas

Requiere 3 operadores especializados para tapadora, llenadora y etiquetadora respectivamente para la mayor parte de las presentaciones, pues no requieren etiqueta y se completa la plantilla de personal con auxiliares de procesos. Su planificación está dada para 3 turnos de 8 horas diarias y su utilización anual es de aproximadamente 51 %.

Llenadora de botellas No. 2 o Lineal. - En esta máquina llenadora de botellas se puede trabajar a 22 uds/min con una dotación de personal de 6 personas como se detalla en la figura 3.2. Requiere 2 operadores especializados para tapadora, llenadora y se completa el personal con auxiliares de procesos.

Llenadora de Botellas No.2

Capacidad: 22 uds/min

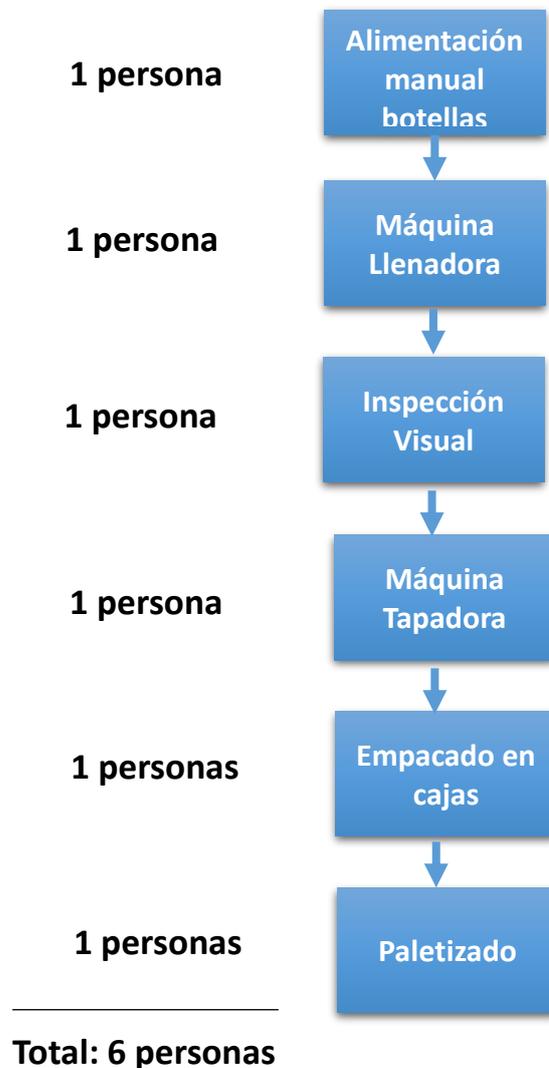


Figura No. 3.2 Llenadora de Botellas No.2

Fuente. - Planta envasadora aceites y grasas

La utilización anual del equipo es en promedio del 30% por lo que trabaja con la plantilla de personal asignado a la llenadora de botellas No. 1 es decir se programa la línea de botellas No 2 cuando la línea de botellas No. 1 está parada y no las 2 máquinas al mismo tiempo.

Llenadora de fundas. – Esta línea está formada por 3 máquinas envasadoras de aceite en fundas de polipropileno con una capacidad nominal de 22 uds/min cada llenadora y son manejadas por 2 operadores especializados, y 6 auxiliares de procesos como se visualiza en la figura 3.3 y su utilización anual es del 74 % por lo que por lo regular 3 días al mes se para la línea de llenado y la plantilla de personal completa se utiliza en la máquina cristalizadora de mantecas en las presentaciones que demandan de 12 a 15 personas para su empacado manual. Más adelante se menciona el detalle del proceso y la distribución del personal de esa línea.

Llenadora de Fundas

Capacidad: 22 uds/min x 3 Envasadoras

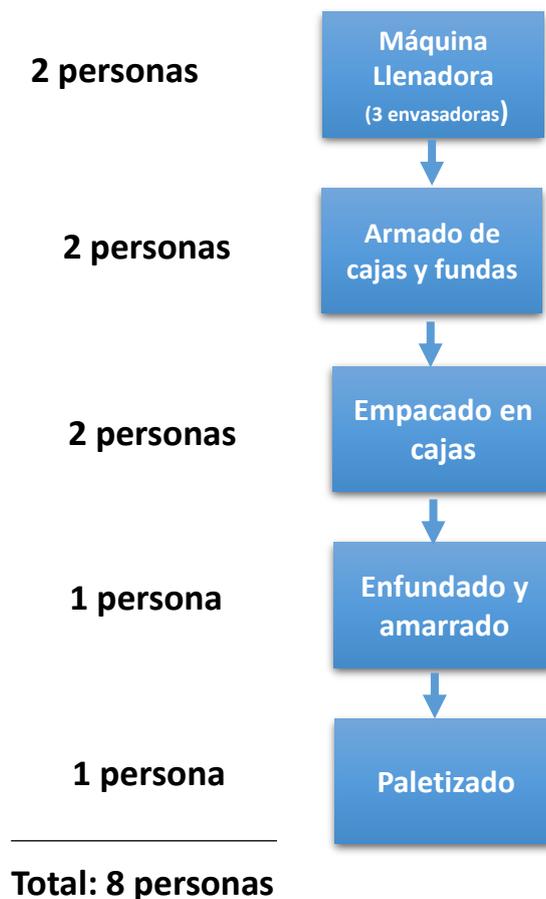


Figura No. 3.3 Línea de fundas

Fuente. - Planta Envasadora aceites y grasas

Llenadora de graneles. - Esta línea cuenta con una máquina llenadora de envases de gran volumen que va desde los 3,8 l hasta 1000 l. Como se muestra en la figura 3.4 se requiere de un operador especializado y 4 auxiliares de procesos, su eficiencia es del 81 % y su utilización anual es de 51 % y tiene 1 turno de trabajo de 8 horas en el día.

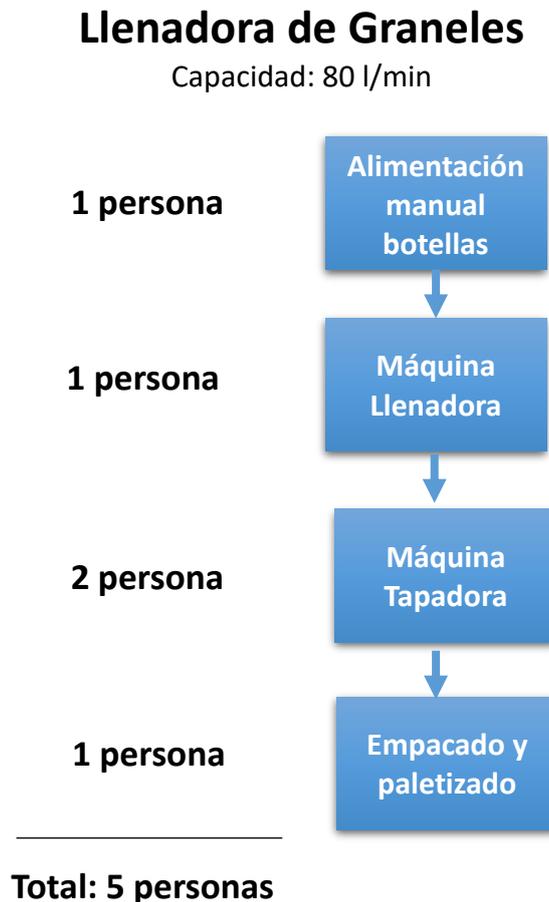


Figura No. 3.4 Llenadora de Bidones

Fuente. - Planta Envasadora aceites y grasas

Llenadora Sachet. - Esta línea es una nueva implementación para atender el mercado detallista o de tienda, cuenta con una máquina llenadora de diferentes presentaciones desde 100 ml, 150 ml, 195 ml hasta 420 ml y como muestra la figura 3.5 se requiere de 1 operador y 2 auxiliares de procesos. Su utilización anual aproximada es del 13% y trabaja 1 turno de 8 horas en el día.

Llenadora de Sachet

Capacidad: 35 uds/min

1 persona

Máquina
Llenadora

1 persona

Empacado

1 persona

Armado de
cajas y
paletizado

Total: 3 personas

Figura No. 3.5 Llenadora de Sachet

Fuente. - Planta Envasadora aceites y grasas

Llenadora de mantecas. - Esta línea cuenta con 2 cristalizadores y puede fabricar presentaciones de 3-15-25-50 kg de mantecas y margarinas para consumo industrial. Su plantilla de personal estándar es de 9 personas por turno, pero si se trabaja con 1 solo cristalizador la plantilla estándar es de 5 personas.

Llenadora de Mantecas

Capacidad: 2000 kg/h cada cristalizador

2 personas

Cristalizadores

2 personas

Armado de
cajas y fundas

3 personas

Llenado

2 persona

Paletizado

Total: 9 personas

Figura No. 3.6 Llenadora de mantecas

Fuente. - Planta Envasadora aceites y grasas

Se requiere de 2 operadores especializados y 8 auxiliares de procesos. Su utilización anual es del 97 % y dependiendo de la demanda llega a ser del 100 % teniendo que incurrir en horas extras suplementarias para cubrir la demanda solicitada.

Preparación de Margarina. – Su capacidad de producción es de 3000 kg cada 2 horas porque se realiza por lote de mezclado de aditivos y requiere de 2 personas por 3 turnos como se detalla en la figura 3.7 y su utilización anual es del 30 % por lo que la misma plantilla trabaja en la extracción de achiote.

Preparación Margarina

Capacidad por lote: 3000 kg/ 2h

1 persona

Mezcla de
aditivos



1 persona

Preparación

Total: 2 personas

*Figura No.3.7 Preparación de margarina
Fuente. - Planta Envasadora aceites y grasas*

Línea de extracción. – Su capacidad de producción es de 3600 kg cada 8 horas debido a que se realiza por lote y se realiza con la misma plantilla de preparación de margarina debido a que su utilización anual al es del 40 % durante 3 turnos diarios de 8 horas cada uno como muestra la figura 3.8

Línea de extracción

Capacidad por lotes: 3600 kg/8h

1 persona

Carga de
semilla



1 persona

Extracción

Total: 2 personas

*Figura No. 3.8 Línea de extracción
Fuente. - Planta Envasadora aceites y grasas*

3.3. Proceso actual de planificación de producción

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 3.9.

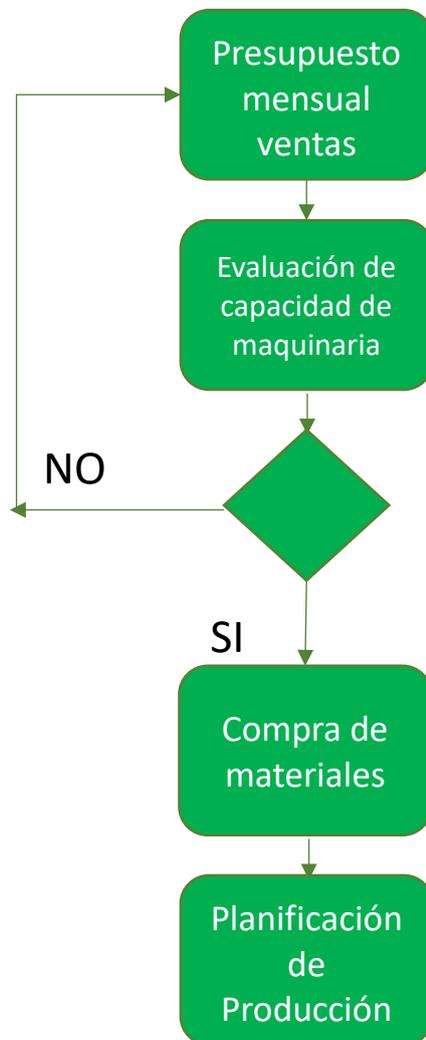


Figura No. 3.9 Proceso de planificación de producción de envasadora de aceites y grasas

Fuente. - Planta envasadora de aceites y grasas

En este caso la evaluación confirma que es posible o no cumplir con el presupuesto de ventas dada la capacidad nominal de las máquinas existentes y los días calendario disponibles. No se revisa la disponibilidad de mano obra necesaria en cada uno de los equipos para fabricar las diferentes presentaciones ya que existen productos que demandan más mano de obra que otros, como se lo revisó en la tabla 3.2. Al no considerar esta restricción el cumplimiento del plan de producción está sujeto a utilizar muchas horas extras no presupuestadas en las referencias o equipos que así lo requieran.

3.4. Cumplimiento del plan de producción

El planificador de producción elabora un plan semanal con las diferentes referencias o presentaciones a envasar, como ejemplo en la tabla 3.3 se pueden observar las cajas planificadas por turno, por día, por tipo de mezcla de aceite, además de la sumatoria de su cumplimiento diario y semanal de la línea de fundas. Existen turnos programados con menor cantidad de cajas debido a la falta de personal disponible. Dado que, durante esos mismos turnos, la línea de mantecas requería mayor número de personal para producir. En la tabla 3.5 se puede ver el personal asignado por línea.

Tabla 3. 3 Plan semanal de producción línea de fundas

LÍNEA FUNDAS	lunes			martes			miércoles			jueves			viernes			Cumplimiento
FECHA	28-ene-19			29-ene-19			30-ene-19			31-ene-19			1-feb-19			plan semanal
Programa Semanal de Produccion	1º	2º	3º	1º	2º	3º	1º	2º	3º	1º	2º	3º	1º	2º	3º	Total de cajas
Cajas funda mezcla 1 planificadas	2000	2000		1560	2000	2000	2000	1560	2000		2000		2000	1560	2000	22680
Cajasfunda mezcla 1 fabricadas	1950	1778		1430	1778	1950	1950	1560	1950	455	1950		1950	975	1950	21626
Cajas funda mezcla 2 planificadas			2000							2000						4000
Cajasfunda mezcla 2 fabricadas		222	1950							1560						3732
Plan día	4000			5560			5560			4000			5560			26680
Produccion día	3728			5158			5460			3965			4875			25358
Gestion por cum. Diaria	93%			93%			98%			99%			88%			95%

Fuente. - Planta envasadora de aceites y grasa

En la tabla 3.4 se resalta en color rosa aquellos turnos que requieren más personal, además también se puede apreciar que los cambios de presentación afectan el cumplimiento efectivo de las cantidades programadas.

Tabla 3.4 Plan semanal de producción línea de mantecas

LINEA MANTECAS	lunes			martes			miércoles			jueves			viernes			Cumplimiento
FECHA	28-ene-19			29-ene-19			30-ene-19			31-ene-19			1-feb-19			plan semanal
Programa Semanal de Produccion	1º	2º	3º	1º	2º	3º	Total de cajas									
Cajas manteca plan 50 KG	240	240	240		240	240				240	240		240		240	2160
Cajas manteca fabricadas 50 KG	156	240	252	24	178	264				240	178		240	64	156	1992
Cajas manteca plan 15 KG				900											900	1800
Cajas manteca fabricadas 15 KG				720	171									560	320	1771
Cajas manteca plan 25 KG							500	500	500							1500
Cajas manteca fabricadas 25 KG							288	512	736							1536
Cajas manteca plan 3 KG												450				450
Cajas manteca fabricadas 3 KG												450				450
Plan día	720			480			1500			930			1380			5910
Produccion día	648			466			1536			868			1340			5749
Gestion por cum. Diaria	90%			97%			100%			93%			97%			97%

Fuente. - Planta envasadora de aceites y grasas

Tabla 3.5 Plantilla de personal asignado por turno por línea

Plantilla de personal necesario	lunes			martes			miércoles			jueves			viernes		
Programa Semanal de Produccion	1º	2º	3º												
Personal Funda	8	8	8	7	8	8	8	7	8	8	8	0	8	7	8
Personal Manteca	5	5	5	6	5	5	6	6	6	5	5	12	5	6	5
Total	13	13	13	13	13	13	14	13	14	13	13	12	13	13	13

Fuente. - Planta envasadora de aceites y grasas

La tabla 3.5 detalla el número de personas asignadas por turno y por línea para cumplir con el plan de producción de esta semana, donde se requiere de 8 personas para la línea de fundas y 5 personas para 1 solo equipo cristizador de mantecas, en total 13 personas asignadas, pero se observan 2 turnos resaltados en rojo que requieren 14 personas y uno con 12 personas. En el primer caso se requiere que 2 personas trabajen 8 h extras y en el segundo caso se tendrá 1 persona de la plantilla de personal estándar sin tarea u operación de producción asignada durante su turno.

3.4.1. Eficiencia operacional. (tiempos muertos, cambios de formato, preparación)

La eficiencia de la planta envasadora en 2019 fue del 84 % frente a un objetivo no alcanzado del 85 % como se ve en la figura 3.10.

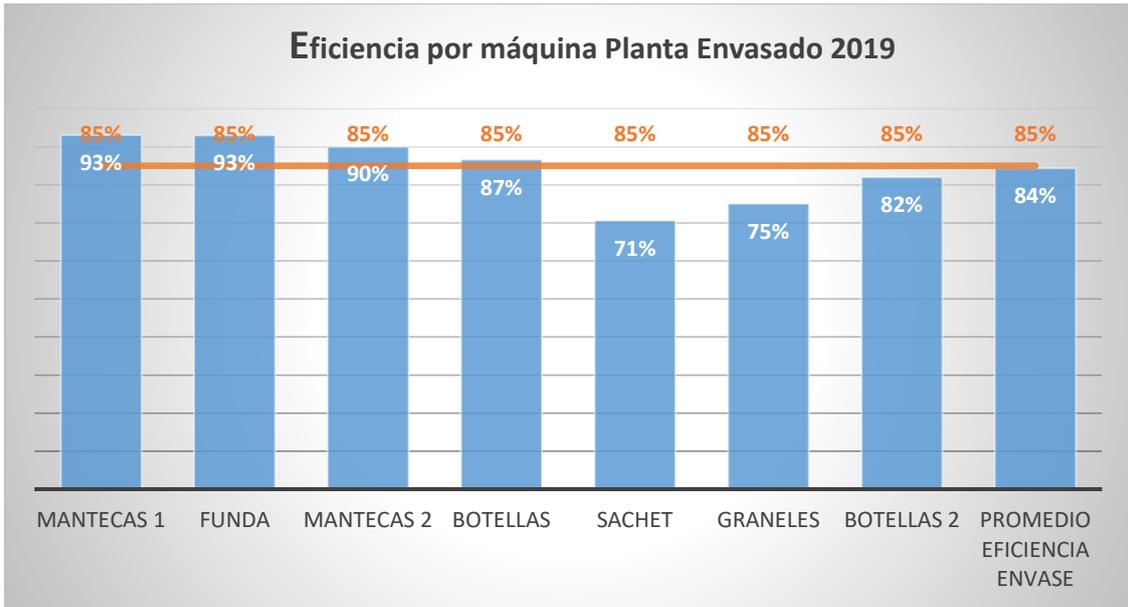


Figura No. 3.10 Eficiencia por máquina Planta Envasado 2019

Fuente. - Planta envasadora de aceites y grasas

Una de las principales causas que afectan la eficiencia de la planta envasadora es la falta de personal como se aprecia en la tabla 3.6 y figura 3.11. El ausentismo por permisos médicos u otros provoca el incumplimiento de los planes de producción.

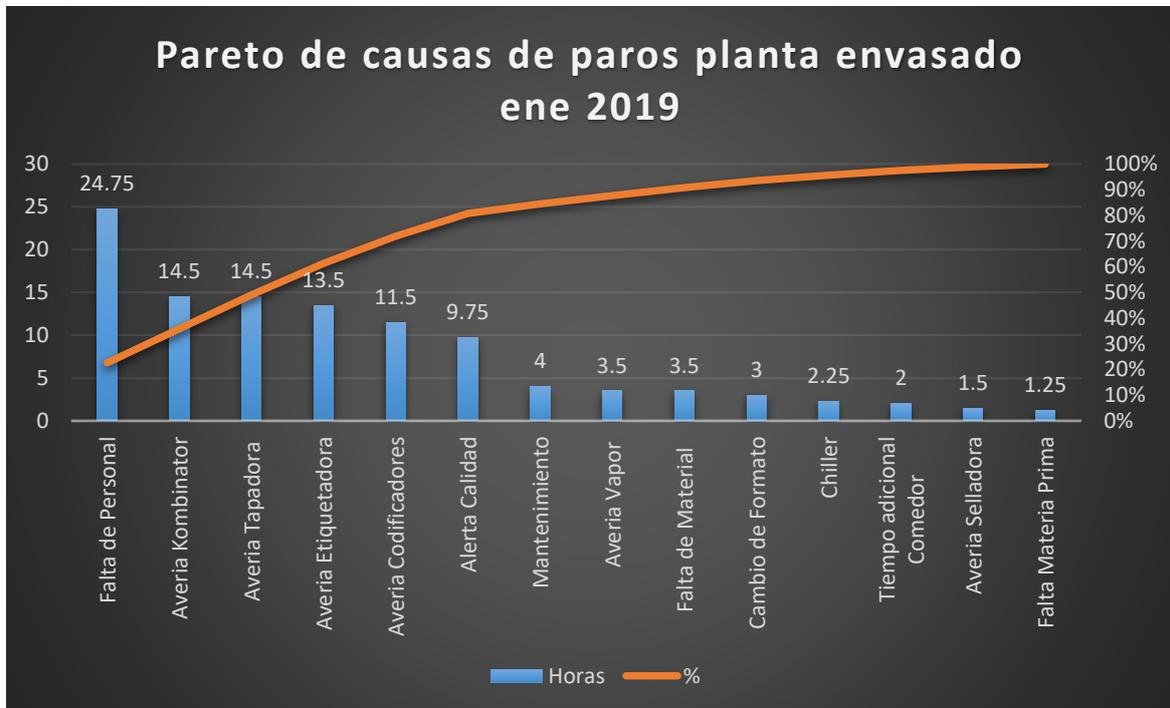


Figura No. 3.11 Pareto de causas de horas de paros planta envasado ene 2019

Fuente. - Planta envasadora de aceites y grasas

Tabla 3. 6 Pareto de causas paro planta envasado ene 2019

CAUSA	Horas	%
Falta de Personal	24,75	23%
Avería Kombinator	14,5	36%
Avería Tapadora	14,5	49%
Avería Etiquetadora	13,5	61%
Avería Codificadores	11,5	72%
Alerta Calidad	9,75	81%
Mantenimiento	4	84%
Avería Vapor	3,5	88%
Falta de Material	3,5	91%
Cambio de Formato	3	94%
Chiller	2,25	96%
Tiempo adicional Comedor	2	97%
Avería Selladora	1,5	99%
Falta Materia Prima	1,25	100%
Total horas paro	109,5	

Fuente. - Planta de envasadora de aceites y grasas

3.4.2. Utilización de la capacidad de producción

La capacidad de producción de la planta envasadora está calculada con la capacidad nominal de cada equipo incluido el valor pérdida de eficiencia por horas de alimentación y cambio de turno por 20 días al mes durante el año para no usar horas extras que generen un sobre costo del valor estándar. En la tabla 3.7 se detalla el porcentaje de utilización de la capacidad anual de la planta de envasado.

Tabla 3.7 Porcentaje de utilización capacidad planta envasado

Año 2018	Capacidad (T)	Producción (T)	% Uso
Enero	5.141	3.359	65%
Febrero	5.141	2.969	58%
Marzo	5.141	3.331	65%
Abril	5.141	3.412	66%
Mayo	5.141	3.875	75%
Junio	5.141	3.715	72%
Julio	5.141	3.630	71%
Agosto	5.141	3.523	69%
Septiembre	5.141	3.417	66%
Octubre	5.141	4.141	81%
Noviembre	5.141	3.064	60%
Diciembre	5.141	3.084	60%
TOTAL	61.693	41.520	67%

Fuente. - Planta envasadora de aceites y grasas

El mayor porcentaje de utilización está en los meses de mayo y octubre como se aprecia en la figura 3.12.

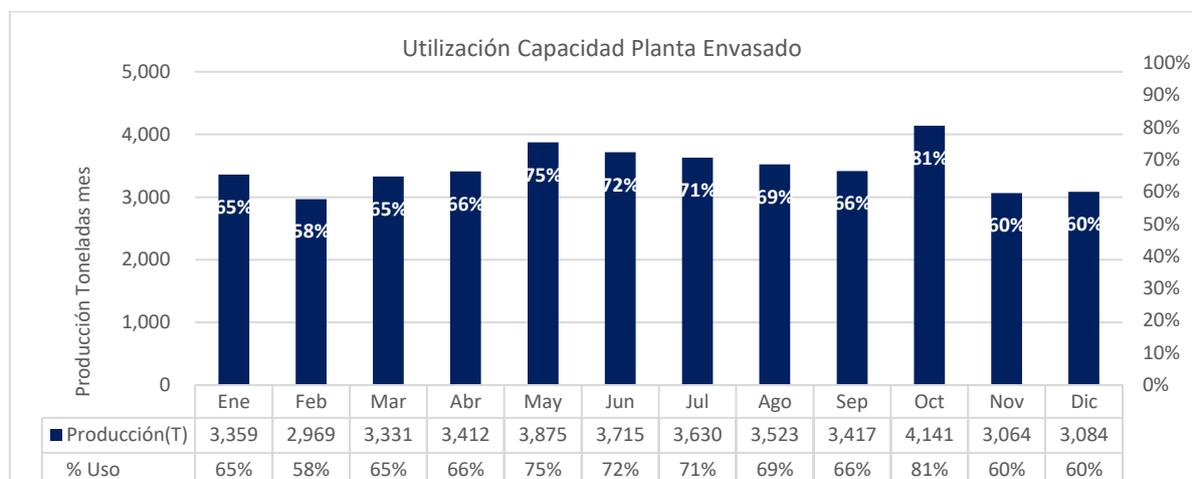


Figura No. 3.12 Utilización capacidad planta envasado

Fuente. - 1 Planta envasadora de aceites y grasas

El bajo nivel de utilización de los equipos que detalla la tabla 3.8 evidencia que la empresa tiene capacidad de producción para entregar el presupuesto de ventas mensual sin problemas, pero la disponibilidad de mano de obra para el funcionamiento de todos los equipos y la elaboración de todas las presentaciones es una restricción difícil de cumplir, sobre todo cuando el área comercial solicita productos que requieren de mano de obra adicional a la plantilla estándar contratada.

Tabla 3.8 Porcentaje de utilización por equipo planta envasadora 2019

Línea producción	Capacidad (T)	Producción (T)	% Utilización
Botella No.1	19.909	10.066	51%
Botella No.2	984	300	30%
Graneles	7.004	3.552	51%
Fundas	16.243	12.052	74%
Mantecas	15.759	15.308	97%
Sachet	1.793	242	13%
Planta Envase	61.693	41.520	67%

Fuente. - Planta envasadora de aceites y grasas

Como se detalla en la tabla 3.2 la plantilla contratada es de 102 personas, pero existen presentaciones de producto que requiere más personas para su fabricación como se puede ver en la tabla 3.3 que pueden ser necesarias hasta 162 personas si se requiriera fabricar todas las presentaciones en un determinado momento. Por lo que se planifican ciertos turnos y equipos con menor número de personas como se ve en la tabla 3.6 con 2 líneas de procesos. Pese a estar planificado con menor cantidad de producción por turno usar menos personal y cumplir con lo planificado en ambas líneas se generaron 16 horas extras y 8 horas en otras actividades secundarias que se traduce en sobrecostos de producción.

Equilibrar las prioridades del plan de producción, el uso de la maquinaria y la disponibilidad del personal para todas las líneas y presentaciones que se fabrican en la planta envasadora de aceites y grasas es el objetivo del desarrollo de esta investigación, es decir elaborar un modelo matemático con las restricciones mencionadas al menor costo posible.

3.5. Histórico de ventas y presupuesto 2020

Se revisan los datos históricos de los 19 ítems de los años 2017, 2018 y 2019, encontrando datos atípicos en el año 2017 debido a que la producción y ventas estuvieron afectadas por el terremoto ocurrido en abril del 2016. Por lo que los datos en estudio son las ventas anuales del 2018 y 2019.

Tabla 3. 9 Histórico de ventas año 2018

Items	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1	238.663	150.910	333.908	253.644	307.208	217.515	266.638	265.593	506.893	414.403	420.907	364.242
2	256.768	207.421	279.765	184.846	140.391	257.202	266.355	281.170	231.645	290.014	220.460	285.605
3	949.224	653.075	881.943	1.025.955	848.871	537.389	923.402	949.152	1.100.637	923.818	957.656	881.695
4	24.205	10.639	22.707	37.477	22.875	22.176	28.124	40.073	37.743	42.249	44.395	34.957
5	20.937	13.886	14.881	50.922	15.217	11.489	36.652	65.334	25.108	21.888	57.858	59.601
6	21.543	15.782	16.796	19.722	35.279	14.870	39.986	65.186	50.024	77.614	25.502	22.471
7	3.239	2.710	2.468	2.540	2.314	2.048	2.730	3.057	5.329	4.693	1.523	2.555
8	5.727	3.772	3.947	6.074	13.905	13.063	5.960	10.890	14.664	15.617	9.064	3.645
9	1.482.014	1.185.847	1.614.090	1.523.432	1.260.648	1.138.544	1.519.952	1.839.196	1.880.069	1.969.123	1.999.352	1.522.326
10	2.417	2.463	2.188	10.485	7.561	12.202	15.239	20.925	12.476	23.247	24.055	28.697
11	416.910	292.795	303.464	404.520	256.104	359.832	316.596	393.652	422.572	685.542	499.769	539.866
12	12.955	7.121	18.571	13.148	6.360	17.760	13.069	16.422	10.494	33.835	20.630	22.522
13	788.840	668.162	811.020	896.025	710.040	739.036	985.180	975.030	1.171.566	1.407.991	1.555.177	1.337.184
14	243.809	227.108	246.477	304.223	249.354	189.190	262.332	266.616	411.434	360.440	414.110	365.645
15	138.086	132.421	178.808	139.940	149.461	112.332	207.372	198.533	246.611	214.012	327.352	272.273
16	29.055	32.715	40.880	31.530	28.860	28.304	34.650	31.465	47.619	53.924	54.698	43.152
17	-	-	140.000	30	-	-	-	-	-	-	-	-
18	289.790	237.754	197.582	292.710	246.708	206.584	312.928	303.380	407.068	393.579	493.979	416.064
19	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Fuente. - Planta envasadora de aceites y grasas

Tabla 3. 10 Histórico de ventas 2019

Items	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1	813.242	731.918	406.876	419.647	427.732	289.974	402.213	375.896	396.475	378.339	341.678	396.555
2	389.353	350.417	352.981	281.062	368.436	464.445	492.531	395.372	456.643	385.245	741.103	937.021
3	984.486	886.038	914.524	1.177.337	1.412.669	1.432.735	986.110	879.178	1.131.699	1.463.371	1.626.703	1.515.359
4	63.250	36.925	73.950	94.750	29.000	26.500	50.523	93.084	80.041	68.883	79.915	89.582
5	41.136	37.023	29.731	39.154	57.799	22.061	70.106	120.502	48.701	95.254	15.218	53.336
6	6.184	5.566	4.368	5.042	3.791	3.038	4.787	3.752	5.188	5.759	2.118	3.791
7	10.935	9.842	6.986	12.059	22.781	19.379	10.449	13.365	14.276	19.167	12.606	5.407
8	44.439	39.995	26.886	39.575	27.220	19.926	27.607	29.626	16.524	32.744	28.781	44.165
9	1.776.675	1.599.008	1.813.320	1.971.802	1.858.061	1.679.531	1.632.308	1.832.414	1.781.313	1.727.661	1.964.903	1.905.918
10	7.179	6.461	7.700	2.825	8.566	3.782	9.933	5.878	8.156	1.914	10.252	2.916
11	14.389	12.950	11.989	13.930	15.685	12.105	13.552	16.808	11.855	12.850	13.211	14.344
12	583	525	313	340	373	470	362	216	257	354	311	392
13	650.210	585.189	713.346	776.691	719.771	792.614	683.105	703.149	776.970	786.678	707.130	490.905
14	108.406	97.565	92.629	84.793	97.490	92.377	100.612	87.977	110.983	110.166	80.330	64.658
15	78.440	70.596	98.444	121.131	148.774	129.004	141.659	107.192	131.453	138.918	114.307	92.496
16	230.850	207.765	322.650	584.550	591.300	257.850	607.500	190.350	500.850	722.250	265.950	78.300
17	65.340	58.806	124.740	230.472	87.912	112.860	159.192	112.860	137.808	237.600	117.612	90.588
18	301.871	271.684	287.734	291.060	323.017	280.962	262.904	309.236	315.414	300.802	279.180	299.822
19	217.649	177.507	167.962	186.624	205.286	205.286	205.286	205.286	223.949	223.949	223.949	223.949

Fuente. - Planta envasadora de aceites y grasas

La revisión de las ventas históricas de cada ítem evidencia una tendencia de crecimiento desde enero 2018 como se puede observar en las figuras 3.13 hasta 3.20



Figura No. 3.13 Histórico de ventas ítem 1
Fuente.- 2 Planta envasadora de aceites y grasas

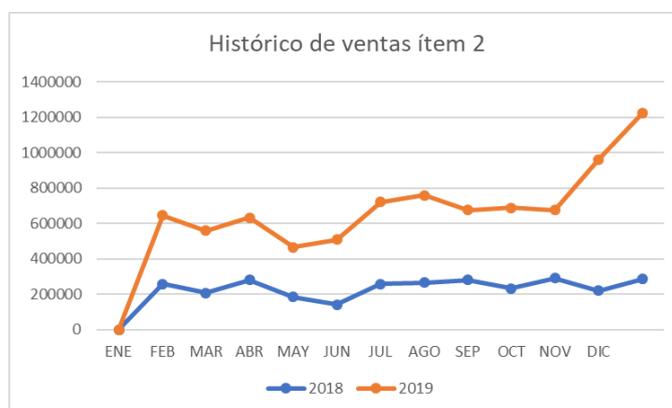


Figura No. 3.14 Histórico de ventas ítem 2
Fuente. - Planta envasadora de aceites y grasas

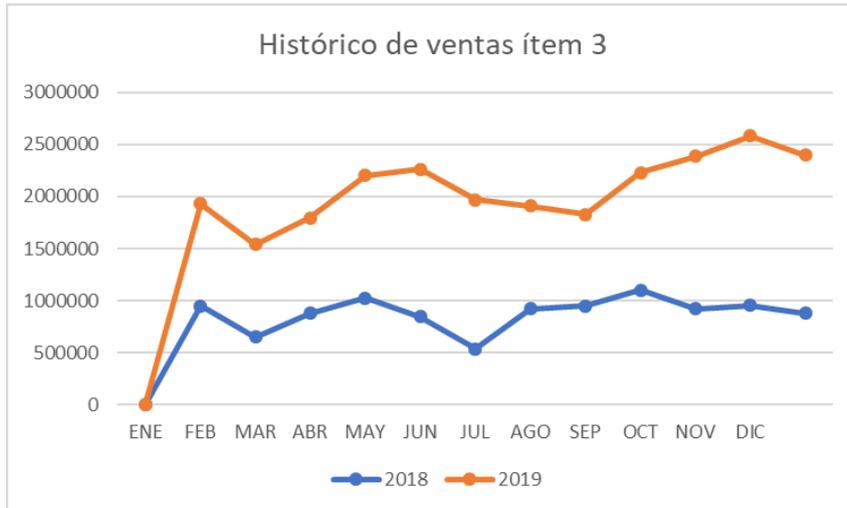


Figura No. 3.15 Histórico de ventas ítem 3
Fuente. - *Panta envasadora de aceites y grasas*

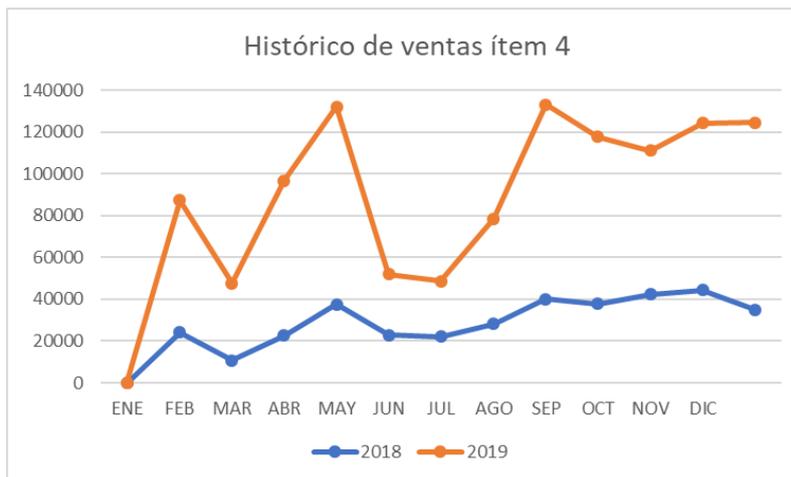


Figura No. 3.16 Histórico de ventas ítem 4
Fuente. - *Panta envasadora de aceites y grasas*

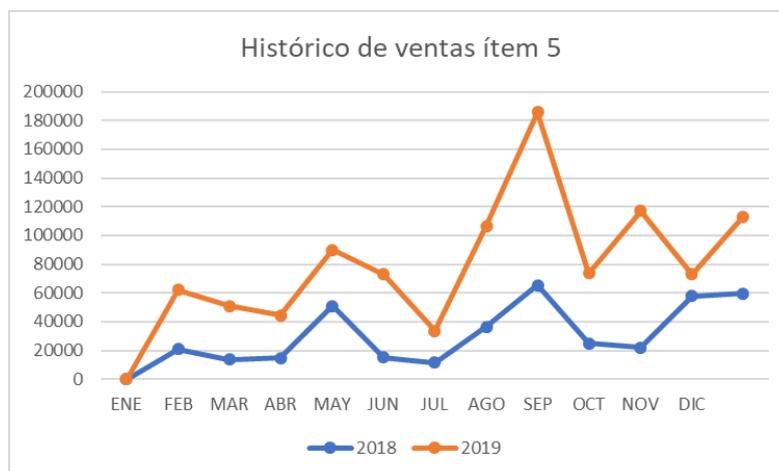


Figura No.3.17 Histórico de ventas ítem 5
Fuente. - *Panta envasadora de aceites y grasas*

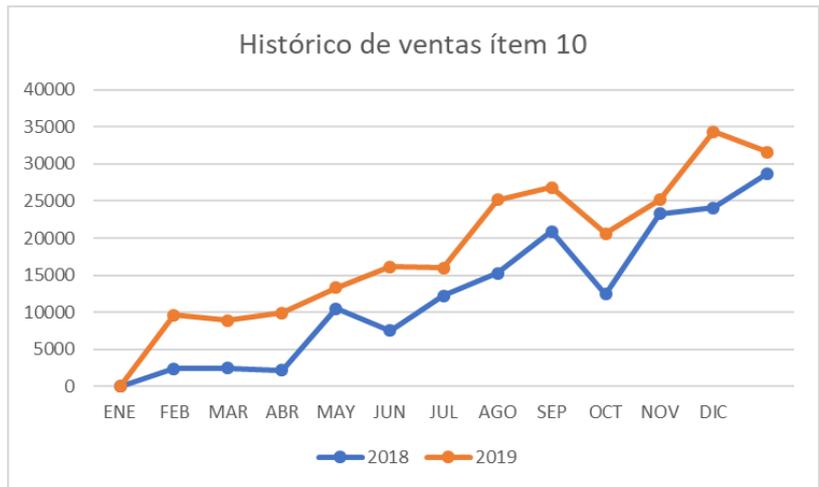


Figura No.3.18 Histórico de ventas ítem 10
Fuente. - Panta envasadora de aceites y grasas

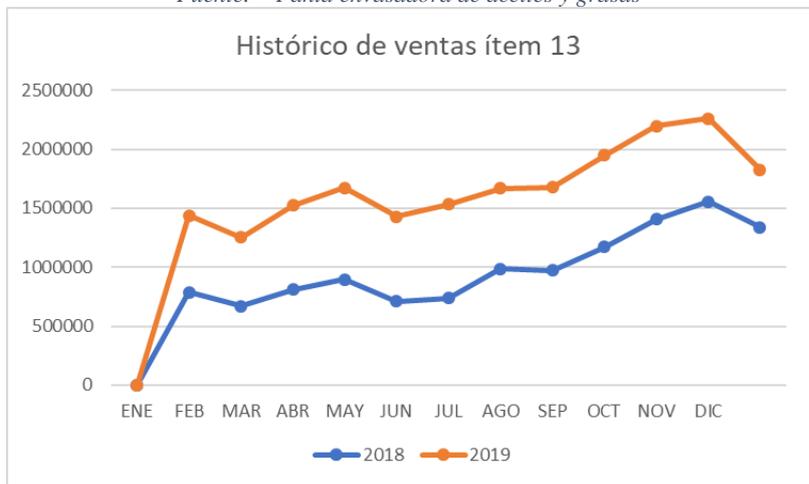


Figura No.3.19 Histórico de ventas ítem 13
Fuente. - Panta envasadora de aceites y grasas

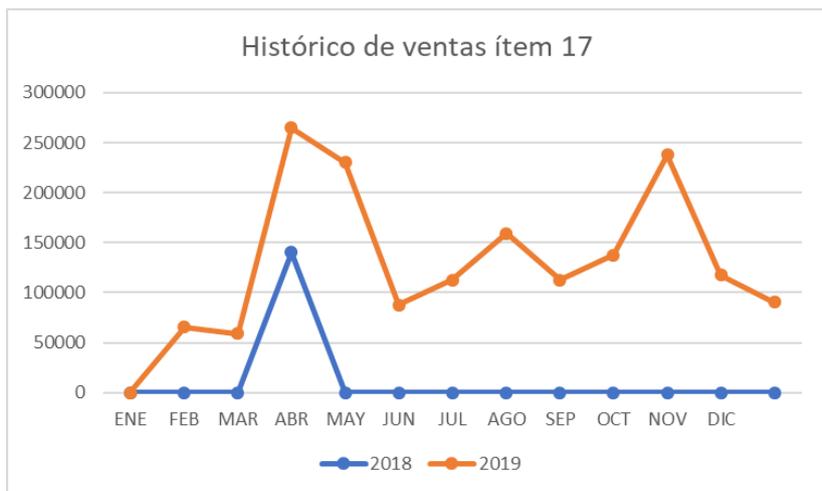


Figura No.3.20 7 Histórico de ventas ítem 17
Fuente. - Panta envasadora de aceites y grasas

La figura del ítem 17 tiene un comportamiento atípico debido a que es un producto de exportación recién reactivado dentro del portafolio de la empresa.

El histórico de ventas de los otros ítems se pueden ver en el Anexo D. Estos datos se utilizan como base para generar un pronóstico de ventas para el 2020 aplicando el criterio de información de Akaike, buscando un pronóstico con la máxima verosimilitud.

Tabla 3.11 Pronóstico ventas 2020

	ene-20	feb-20	mar-20	abr-20	may-20	jun-20	jul-20	ago-20	sep-20	oct-20	nov-20	dic-20
1	364.242	813.242	731.918	406.876	419.647	427.732	289.974	402.213	375.896	396.475	378.339	341.678
2	285.605	389.353	350.417	352.981	281.062	368.436	464.445	492.531	395.372	456.643	385.245	741.103
3	881.695	984.486	886.038	914.524	1.177.337	1.412.669	1.432.735	986.110	879.178	1.131.699	1.463.371	1.626.703
4	34.957	63.250	36.925	73.950	94.750	29.000	26.500	50.523	93.084	80.041	68.883	79.915
5	59.601	41.136	37.023	29.731	39.154	57.799	22.061	70.106	120.502	48.701	95.254	15.218
6	22.471	6.184	5.566	4.368	5.042	3.791	3.038	4.787	3.752	5.188	5.759	2.118
7	2.555	10.935	9.842	6.986	12.059	22.781	19.379	10.449	13.365	14.276	19.167	12.606
8	3.645	44.439	39.995	26.886	39.575	27.220	19.926	27.607	29.626	16.524	32.744	28.781
9	1.522.326	1.776.675	1.599.008	1.813.320	1.971.802	1.858.061	1.679.531	1.632.308	1.832.414	1.781.313	1.727.661	1.964.903
10	28.697	7.179	6.461	7.700	2.825	8.566	3.782	9.933	5.878	8.156	1.914	10.252
11	539.866	14.389	12.950	11.989	13.930	15.685	12.105	13.552	16.808	11.855	12.850	13.211
12	22.522	583	525	313	340	373	470	362	216	257	354	311
13	1.337.184	650.210	585.189	713.346	776.691	719.771	792.614	683.105	703.149	776.970	786.678	707.130
14	365.645	108.406	97.565	92.629	84.793	97.490	92.377	100.612	87.977	110.983	110.166	80.330
15	272.273	78.440	70.596	98.444	121.131	148.774	129.004	141.659	107.192	131.453	138.918	114.307
16	43.152	230.850	207.765	322.650	584.550	591.300	257.850	607.500	190.350	500.850	722.250	265.950
17	-	65.340	58.806	124.740	230.472	87.912	112.860	159.192	112.860	137.808	237.600	117.612
18	416.064	301.871	271.684	287.734	291.060	323.017	280.962	262.904	309.236	315.414	300.802	279.180
19	-	217.649	177.507	167.962	186.624	205.286	205.286	205.286	205.286	223.949	223.949	223.949

Fuente. - Planta envasadora de aceites y grasas

El presupuesto de ventas mensual normalmente lo entrega el área comercial al planificador de producción y está dado en unidades para los aceites y en kilogramos para las mantecas y margarinas como puede apreciarse en la tabla 3.12 donde se visualiza el subtotal de unidades o kilos presupuestados por la línea de producción en las filas de color gris y el total de unidades y kilogramos presupuestados por mes en las filas de color azul. El requerimiento de producción tiene un horizonte mensual y se mantiene un stock de seguridad que contempla del 10 % del valor mensual presupuestado. Los valores que se utilizan en la simulación de la planificación de producción son los del año 2019.

Tabla 3. 12 Presupuesto de ventas 2019

LÍNEA DE PRODUCCIÓN	ítem	PRESENTACIÓN	UM	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Máquina No.1	ítem 1	200	UN	813.242	731.918	406.876	419.647	427.732	289.974	402.213	375.896	396.475	378.339	341.678	396.555
Máquina No.1	ítem 2	390	UN	389.353	350.417	352.981	281.062	368.436	464.445	492.531	395.372	456.643	385.245	741.103	937.021
Máquina No.1	ítem 3	900	UN	984.486	886.038	914.524	1.177.337	1.412.669	1.432.735	986.110	879.178	1.131.699	1.463.371	1.626.703	1.515.359
Máquina No.1	ítem 4	1.000	UN	63.250	36.925	73.950	94.750	29.000	26.500	50.523	93.084	80.041	68.883	79.915	89.582
Máquina No.2	ítem 5	2	UN	41.136	37.023	29.731	39.154	57.799	22.061	70.106	120.502	48.701	95.254	15.218	53.336
Máquina No.2	ítem 6	900	UN	6.184	5.566	4.368	5.042	3.791	3.038	4.787	3.752	5.188	5.759	2.118	3.791
Máquina No.2	ítem 7	835	UN	10.935	9.842	6.986	12.059	22.781	19.379	10.449	13.365	14.276	19.167	12.606	5.407
Máquina No.2	ítem 8	1000	UN	44.439	39.995	26.886	39.575	27.220	19.926	27.607	29.626	16.524	32.744	28.781	44.165
Máquina No.3	ítem 9	Funda	UN	1.776.675	1.599.008	1.813.320	1.971.802	1.858.061	1.679.531	1.632.308	1.832.414	1.781.313	1.727.661	1.964.903	1.905.918
Máquina No.4	ítem 10	4	UN	7.179	6.461	7.700	2.825	8.566	3.782	9.933	5.878	8.156	1.914	10.252	2.916
Máquina No.4	ítem 11	20	UN	14.389	12.950	11.989	13.930	15.685	12.105	13.552	16.808	11.855	12.850	13.211	14.344
Máquina No.4	ítem 12	55	UN	583	525	313	340	373	470	362	216	257	354	311	392
Máquina No.5	ítem 13	50	KG	650.210	585.189	713.346	776.691	719.771	792.614	683.105	703.149	776.970	786.678	707.130	490.905
Máquina No.5	ítem 14	15	KG	108.406	97.565	92.629	84.793	97.490	92.377	100.612	87.977	110.983	110.166	80.330	64.658
Máquina No.5	ítem 15	3	KG	78.440	70.596	98.444	121.131	148.774	129.004	141.659	107.192	131.453	138.918	114.307	92.496
Máquina No.6	ítem 16	25	KG	230.850	207.765	322.650	584.550	591.300	257.850	607.500	190.350	500.850	722.250	265.950	78.300
Máquina No.6	ítem 17	20	KG	65.340	58.806	124.740	230.472	87.912	112.860	159.192	112.860	137.808	237.600	117.612	90.588
Máquina No.6	ítem 18	55	KG	301.871	271.684	287.734	291.060	323.017	280.962	262.904	309.236	315.414	300.802	279.180	299.822
Máquina No.7	ítem 19	100	UN	217.649	177.507	167.962	186.624	205.286	205.286	205.286	205.286	223.949	223.949	223.949	223.949
Personas necesarias por presentación				5.804.617	5.185.778	5.457.127	6.332.842	6.405.663	5.844.899	5.860.739	5.482.141	6.148.555	6.711.902	6.625.255	6.309.501

Fuente. - Planta envasadora de aceites y grasas

3.6. Horas extras generadas

El rubro de mayor peso en el costo de un producto está dado por su mano de obra directa por lo que generar horas adicionales para fabricarlo lo convierte en un producto mucho más costoso. Como se aprecia en la figura 3.21 el mayor número de horas extras generadas en el mes de enero corresponden a la producción de fin de semana de la línea de mantecas seguida por las horas extras por reemplazo de vacaciones. En la empresa el valor de la hora extra con recargo del 100 % es de \$ 5 dólares.

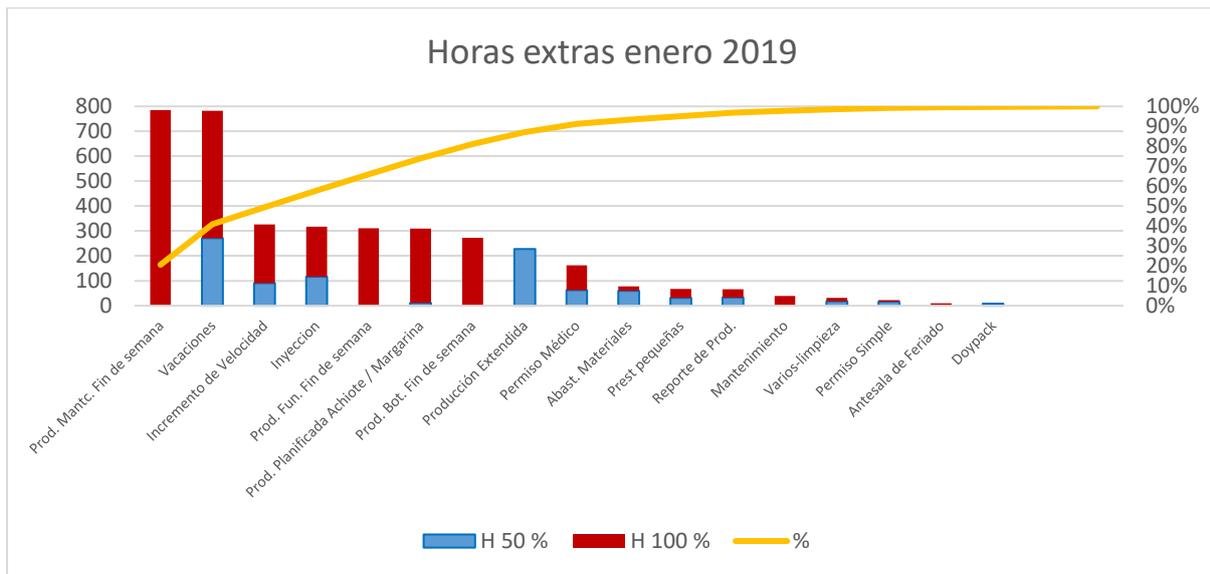


Figura No.3.21 Horas sobretiempo enero 2020
Fuente. - Planta envasadora de aceites y grasas

También cabe mencionar que el segundo rubro más importante son las horas extras por concepto de vacaciones ya que para que las 92 personas gocen de sus 15 días de vacaciones reglamentarios se requiere de 5 personas adicionales durante los 12 meses para cubrir sus puestos de trabajo y no generar horas extras por su reemplazo.

3.7. Desarrollo del Modelo Matemático

Para el desarrollo del modelo matemático se consideran los siguientes datos:

- Demanda mensual de productos por presentación y por línea de producción.
- Lista de productos a fabricar por la línea de producción.
- Horizonte de producción (mensual).
- Número de personas necesarias por línea de producción.
- Número de personas necesarias por presentación.

3.7.1. Índices del modelo

La parametrización de datos requiere de conjuntos de agrupaciones donde se utilizan índices que detalla la tabla 3.13

Tabla 3. 13 Presupuesto de ventas 2019

Índices	
i	ítem ó SKU
j	Línea de producción
l	Semana
d	Día de la semana
t	Turno de producción

Fuente. - Yadira Velastegui

3.7.2. Variables de Decisión

Se hace uso de variables de decisión como detalla la tabla 3.14 para la obtención de los resultados deseados.

Tabla 3. 14 Variables de decisión modelo matemático

Variables de decisión	
X (i,j,l,d,t)	Cantidad de ítems i producidos en la línea j la semana l el día d en el turno t
Y (i,j,l,d,t)	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
W (i,j,l,d,t)	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
h (i, j(i),t)	Horario asignado para el ítem i del proceso j en el turno t

Fuente. - Yadira Velastegui

3.7.3. Parámetros

Los parámetros que forman parte del desarrollo del modelo matemático se presentan en la tabla 3.15

Tabla 3. 15 Parámetros

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

Fuente. - Yadira Velastegui

3.7.4. 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.

$$Max Z = \sum_{i,j,l,d,t}^{I,J,L,D,T} X(i,j,l,d,t) - \sum_{i,j,l,d,t}^{I,J,L,D,T} Y(i,j,l,d,t) * O(i) - \sum_{i,j,l,d,t}^{I,J,L,D,T} W(i,j,l,d,t) * OE(i) \quad (3.1)$$

3.7.5. Restricciones

Considerando las restricciones propias del proceso productivo.

Tasa de producción

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

$$X(i, j, l, d, t) = TasaProducción(i) * h(i, j(i), t) \quad \forall i \forall j \forall l \forall d \forall t \quad (3.2)$$

Cumplimiento de demanda

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

$$\sum_{i,d,t}^{l,D,T} X(i, j, l, d, t) \geq Demanda(j, l) \quad \forall j \forall l \quad (3.3)$$

Capacidad de producción

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

$$\sum_{i,d,t}^{l,D,T} X(i, j, l, d, t) \leq PlanProducción(j, l) \quad \forall j \forall l \quad (3.4)$$

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.

$$\sum_{i,j,l,d}^{l,J,L,D} W(i, j, l, d, t) \leq m(t) \quad \forall t \quad (3.5)$$

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.

$$\sum_{i,j,l,d}^{I,J,L,D} Y(i,j,l,d,t) + \sum_{i,j,l,d}^{I,J,L,D} W(i,j,l,d,t) = \text{ProcesoPersona}(j,l,d) * \text{AsigProc}(j,l,d) \quad (3.6)$$

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

$$h(i,j(i),t) \leq 8 \quad \forall i \quad \forall j \quad \forall t \quad (3.7)$$

Las variables pertenecen a los números enteros.

$$X(i,j,l,d,t), Y(i,j,l,d,t), W(i,j,l,d,t), h(j(i),t) \in \mathbb{N} \quad (3.8)$$

3.8. 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 la figura 3.22 - 3.23 - 3.24pl



Figura 3.22 Flujograma planificación de producción y mano de obra
Fuente. - Panta envasadora de aceites y grasas

CAPÍTULO 4

4. APLICACIÓN DE LA HEURÍSTICA

4.1. 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 4.1:

Tabla 4.1 Líneas de envasado, ítems asociados, personal asignado y setup

LÍNEA DE PRODUCCIÓN	ÍTEM	PRESENTACIÓN	CAPACIDAD		Unidad de medida	Personas	TIEMPOS SETUP (horas)
Máquina No.1	ítem 1	200	90	unidades/min	ud	8	4
Máquina No.1	ítem 2	390	90	unidades/min	ud	8	4
Máquina No.1	ítem 3	900	90	unidades/min	ud	9	4
Máquina No.1	ítem 4	1000	90	unidades/min	ud	9	4
Máquina No.2	ítem 5	1,8	18	unidades/min	ud	6	4
Máquina No.2	ítem 6	900	18	unidades/min	ud	6	4
Máquina No.2	ítem 7	835	18	unidades/min	ud	6	4
Máquina No.2	ítem 8	1000	18	unidades/min	ud	6	4
Máquina No.3	ítem 9	Fundas	66	unidades/min	ud	8	1
Máquina No.4	ítem 10	3,8	4	unidades/min	ud	5	1
Máquina No.4	ítem 11	20	4	unidades/min	ud	5	1
Máquina No.4	ítem 12	55	2	unidades/min	ud	5	1
Máquina No.5	ítem 13	50	30	kilogramos/min	kg	4	1
Máquina No.5	ítem 14	15	30	kilogramos/min	kg	5	1
Máquina No.5	ítem 15	3	30	kilogramos/min	kg	15	1
Máquina No.6	ítem 16	25	23	kilogramos/min	kg	5	1
Máquina No.6	ítem 17	20	23	kilogramos/min	kg	5	1
Máquina No.6	ítem 18	55	23	kilogramos/min	kg	4	1
Máquina No.7	ítem 19	100	35	kilogramos/min	ud	3	4

Fuente. - Planta envasadora de aceites y grasas

El costo de la hora hombre durante la jornada laboral normal dentro de las 240 horas laborables mensuales es de \$ 2,5 USD por lo que 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.

4.2. RESULTADOS DEL MODELO APLICADO

4.2.1. Simulación del Modelo

Los datos de entrada para la simulación corresponden al plan de ventas mensual por ítem en unidades y kilogramos según corresponda menos el inventario inicial, más un 10 % de inventario de stock de seguridad, tal como se muestra en la tabla plan de producción mensual año 2019 en la Figura.4.2.

Tabla 4.2 Plan de producción mensual año 2019

LÍNEA DE PRODUCCIÓN	ÍTEM	Unidad de medida	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Máquina No.1	ítem 1	ud	903.602	813.242	452.084	466.274	475.257	322.193	446.903	417.662	440.528	420.377	490.754	329.505
Máquina No.1	ítem 2	ud	432.614	389.353	392.201	312.291	409.374	516.050	547.256	439.302	507.381	650.272	934.559	596.690
Máquina No.1	ítem 3	ud	1.093.874	984.486	1.349.471	1.308.152	1.569.632	1.591.928	1.095.678	976.864	1.257.443	1.625.968	1.807.448	1.461.510
Máquina No.1	ítem 4	ud	292.500	263.250	2.515.500	427.500	810.000	585.000	3.382.803	1.103.427	1.866.713	2.932.092	1.644.350	1.655.091
Máquina No.2	ítem 5	ud	45.707	41.136	33.034	43.504	64.221	24.512	77.895	133.891	54.113	105.838	16.909	37.040
Máquina No.2	ítem 6	ud	6.872	6.184	4.853	5.603	4.212	3.375	5.319	4.169	5.765	6.399	2.353	4.212
Máquina No.2	ítem 7	ud	12.150	10.935	7.763	13.399	25.313	21.533	11.610	14.850	15.863	21.296	14.006	6.008
Máquina No.2	ítem 8	ud	49.376	44.439	29.873	43.972	30.244	22.140	30.674	32.918	18.360	36.383	31.979	49.073
Máquina No.3	ítem 9	ud	1.974.083	1.776.675	2.459.244	2.190.892	2.731.179	1.866.145	1.813.676	2.036.016	1.979.237	1.919.623	1.961.003	1.451.019
Máquina No.4	ítem 10	ud	7.976	7.179	8.556	3.139	9.518	4.202	11.036	6.531	9.062	2.126	11.391	3.240
Máquina No.4	ítem 11	ud	15.987	14.389	13.321	15.478	17.427	13.451	15.058	18.675	13.173	14.277	14.679	15.938
Máquina No.4	ítem 12	ud	648	583	348	378	414	522	402	240	285	393	345	435
Máquina No.5	ítem 13	kg	722.456	650.210	792.606	862.990	799.746	880.682	759.006	781.277	863.300	874.086	785.700	545.450
Máquina No.5	ítem 14	kg	120.451	108.406	102.921	94.214	108.322	102.642	111.791	97.753	123.314	122.406	89.256	71.842
Máquina No.5	ítem 15	kg	87.156	78.440	109.382	134.590	165.305	143.338	157.399	119.102	146.059	154.354	127.008	102.773
Máquina No.6	ítem 16	kg	256.500	230.850	358.500	649.500	657.000	286.500	675.000	211.500	556.500	802.500	295.500	87.000
Máquina No.6	ítem 17	kg	72.600	65.340	138.600	256.080	97.680	125.400	176.880	125.400	153.120	264.000	130.680	67.320
Máquina No.6	ítem 18	kg	335.412	301.871	319.704	323.400	358.908	312.180	292.116	343.596	350.460	334.224	310.200	222.024
Máquina No.7	ítem 19	ud	241.832	197.230	186.624	207.360	228.096	228.096	228.096	228.096	248.832	248.832	248.832	248.832
Total			6.671.796	5.984.198	9.274.585	7.358.714	8.561.848	7.049.887	9.838.599	7.091.268	8.609.506	10.535.446	8.916.950	6.955.001

Fuente.- 3 Planta envasadora de aceites y grasas

Se consideran como restricciones: la capacidad de producción por máquina, el número de personas asignado por ítem y por máquina (ver tabla 4.2), el lote mínimo a producir en horas, los turnos disponibles por equipo debido a la plantilla estándar contratada para la planta envasadora.

Tabla 4.3 Personal necesario, turnos disponibles y capacidad por máquina

LINEA DE PRODUCCIÓN	No. Personas necesarias	Turnos/Día	ítem	PRESENTACIÓN	CAPACIDAD	UM
Máquina No.1	9	3	ítem 1	200	90	unidades/min
Máquina No.1	9	3	ítem 2	390	90	unidades/min
Máquina No.1	9	3	ítem 3	900	90	unidades/min
Máquina No.1	9	3	ítem 4	1000	90	unidades/min
Máquina No.2	6	1	ítem 5	1,8	18	unidades/min
Máquina No.2	6	1	ítem 6	900	18	unidades/min
Máquina No.2	6	1	ítem 7	835	18	unidades/min
Máquina No.2	6	1	ítem 8	1000	18	unidades/min
Máquina No.3	8	3	ítem 9	Funda	66	unidades/min
Máquina No.4	5	1	ítem 10	3,8	4	unidades/min
Máquina No.4	5	1	ítem 11	20	4	unidades/min
Máquina No.4	4	1	ítem 12	55	2	unidades/min
Máquina No.5	4	3	ítem 13	50	30	kilogramos/min
Máquina No.5	5	3	ítem 14	15	30	kilogramos/min
Máquina No.5	15	3	ítem 15	3	30	kilogramos/min
Máquina No.6	5	3	ítem 16	25	23	kilogramos/min
Máquina No.6	5	3	ítem 17	20	23	kilogramos/min
Máquina No.6	5	3	ítem 18	55	23	kilogramos/min
Máquina No.7	3	1	ítem 19	100	35	unidades/min

Fuente. - Planta envasadora de aceites y grasas

Se utiliza el software informático Wolfram Mathematica y la programación del algoritmo Job shop scheduling problem para calcular el plan de producción y la asignación de la mano de obra necesaria por turno (Anexo D) de acuerdo al requerimiento por presentación y capacidades según tabla 4.3 para un mes de producción.

La funcionalidad del programa permite determinar la planificación diaria y mensual:

- Maquinaria
- Asignación-Turno
- Costos Extras
- Evaluación de Asignación para dar prioridades en el proceso.

El modelo matemático entrega los resultados por ítem a producir, por turno, por máquina, como se visualiza en el plan de producción generado para 10 días en las tablas 4.4 y 4.5. Los 20 días restantes del mes se los puede revisar en el anexo A.

Tabla 4.4 Plan maestro de producción semana 1

LINEA DE PRODUCCIÓN	ÍTEM	Día 1			Día 2			Día 3			Día 4			Día 5		
		I	II	III												
Máquina No.1	ítem 1	43200	43200	43200	43200	43200	43200	43200	43200	43200	43200	43200	43200	43200	43200	43200
Máquina No.1	ítem 2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Máquina No.1	ítem 3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Máquina No.1	ítem 4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Máquina No.2	ítem 5	8640	0	0	8640	0	0	8640	0	0	8640	0	0	8640	0	0
Máquina No.2	ítem 6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Máquina No.2	ítem 7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Máquina No.2	ítem 8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Máquina No.3	ítem 9	31680	31680	31680	31680	31680	31680	31680	31680	31680	31680	31680	31680	31680	31680	31680
Máquina No.4	ítem 10	1920	0	0	1920	0	0	1920	0	0	1920	0	0	1920	0	0
Máquina No.4	ítem 11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1920	0
Máquina No.4	ítem 12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Máquina No.5	ítem 13	14400	14400	14400	14400	14400	14400	14400	14400	14400	14400	14400	14400	14400	14400	14400
Máquina No.5	ítem 14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Máquina No.5	ítem 15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Máquina No.6	ítem 16	11040	11040	11040	11040	11040	11040	11040	11040	11040	11040	11040	11040	11040	11040	11040
Máquina No.6	ítem 17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Máquina No.6	ítem 18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Máquina No.7	ítem 19	16800	0	0	16800	0	0	16800	0	0	16800	0	0	16800	0	0

Fuente. - Planta envasadora de aceites y grasas

Tabla 4.5 Plan Maestro de producción semana 2

LINEA DE PRODUCCIÓN	ÍTEM	Día 6		Día 7			Día 8			Día 9			Día 10		
		II	III	I	II	III									
Máquina No.1	ítem 1	43200	43200	43200	43200	43200	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Máquina No.1	ítem 2	0	0	0	0	0	43200	43200	43200	43200	43200	43200	43200	43200	43200
Máquina No.1	ítem 3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Máquina No.1	ítem 4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Máquina No.2	ítem 5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Máquina No.2	ítem 6	8640	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Máquina No.2	ítem 7	0	8640	8640	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Máquina No.2	ítem 8	0	0	0	8640	0	8640	0	0	8640	0	0	8640	0	0
Máquina No.3	ítem 9	31680	31680	31680	31680	31680	31680	31680	31680	31680	31680	31680	31680	31680	31680
Máquina No.4	ítem 10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Máquina No.4	ítem 11	0	0	1920	0	0	1920	0	0	1920	0	0	1920	0	0
Máquina No.4	ítem 12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Máquina No.5	ítem 13	14400	14400	14400	14400	14400	14400	14400	14400	14400	14400	14400	14400	14400	14400
Máquina No.5	ítem 14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Máquina No.5	ítem 15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Máquina No.6	ítem 16	11040	11040	11040	11040	11040	11040	11040	11040	0	0	0	0	0	0
Máquina No.6	ítem 17	0	0	0	0	0	0	0	0	11040	11040	11040	11040	11040	11040
Máquina No.6	ítem 18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Máquina No.7	ítem 19	0	0	16800	0	0	16800	0	0	16800	0	0	16800	0	0

Fuente. - Planta envasadora de aceites y grasas

La planificación de la mano de obra asignada por día a cada línea de producción se detalla en la tabla 4.6 para los primeros 10 días del mes, los 20 restantes se pueden revisar en el anexo B.

Por lo tanto, existen días en que hay personal sin tarea asignada o días libres en que este personal puede laborar en otra línea de producción que requiera mayor número de personas de acuerdo con la planificación mensual recibida.

El mes utilizado para la simulación tiene 22 días laborables por lo que en la tabla 4.7 y 4.8 se visualiza que se generaran horas extras los días 5,6,7 y 21 mientras que los días 14,15,16,17 en adelante se dispone de mano obra libre sin máquina asignada.

Tabla 4.8 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
Costo MO extra por día \$ Usd.			\$ -2.000,00	

Fuente. - Planta envasadora de aceites y grasas

4.3. Resultados del Modelo

Los resultados de la simulación se exportan a Excel y se analizan para la toma de decisiones que optimicen programación de la capacidad de producción de las líneas de la planta de envasado y el uso del recurso humano por día durante todo el mes y el año.

La prioridad de producción de cada ítem la entrega el área comercial y está dada por los días de inventario del ítem a nivel nacional y el promedio diario de ventas pero 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 figura 4.9

Tabla 4.9 Plan de utilización de maquinaria en días

LINEAS	DÍAS 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

Fuente. - Planta envasadora de aceites y grasas

La planificación del día 23 se puede revisar en la tabla 4.10 donde se requiere producir el ítem 15 que demanda 15 personas para su fabricación de acuerdo con su requerimiento.

Tabla 4.10 Plan producción y mano de obra día 23 mes 1

	t1	t2	t3
1	0	0	0
2	0	0	0
3	0	0	0
4	0	0	0
5	0	0	0
6	0	0	0
7	0	0	0
8	0	0	0
9	0	0	0
10	0	0	0
11	0	0	0
12	0	0	0
13	0	0	0
14	0	0	0
15	14400	0	0
16	0	0	0
17	0	0	0
18	0	0	0
19	0	0	0

	t1	t2	t3
1	0	0	0
2	0	0	0
3	0	0	0
4	0	0	0
5	0	0	0
6	0	0	0
7	0	0	0
8	0	0	0
9	0	0	0
10	0	0	0
11	0	0	0
12	0	0	0
13	0	0	0
14	0	0	0
15	15	0	0
16	0	0	0
17	0	0	0
18	0	0	0
19	0	0	0

Fuente. - Planta envasadora de aceites y grasas

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 dólares, en total \$ 2000 dólares en horas extras para cumplir el plan como se ve en la tabla 4.8

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. Ver anexo C.

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 4.11

Tabla 4.11 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	

Fuente. - Planta envasadora de aceites y grasas

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 4.12.

Tabla 4.12 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

Fuente.- Planta envasadora de aceites y grasas.

El cumplimiento del plan de producción está sobre el 100 % debido a los lotes mínimos estándar establecidos que corresponden a un arranque de 8 h para cada proceso. Ver tabla 4.13

Tabla 4.13 Cumplimiento Plan de Producción mes 1

LÍNEA DE PRODUCCIÓN	ÍTEM	PLAN PROD. MES	PRESUPUESTO VENTAS	% CUMPLIMIENTO PRODUCCIÓN
Máquina No.1	ítem 1	907200	903602	100%
Máquina No.1	ítem 2	475200	432614	110%
Máquina No.1	ítem 3	1123200	1093874	103%
Máquina No.1	ítem 4	302400	292500	103%
Máquina No.2	ítem 5	51840	45707	113%
Máquina No.2	ítem 6	8640	6872	126%
Máquina No.2	ítem 7	17280	12150	142%
Máquina No.2	ítem 8	51840	49376	105%
Máquina No.3	ítem 9	1995840	1974083	101%
Máquina No.4	ítem 10	9600	7976	120%
Máquina No.4	ítem 11	17280	15987	108%
Máquina No.4	ítem 12	960	848	113%
Máquina No.5	ítem 13	734400	722456	102%
Máquina No.5	ítem 14	129600	120451	108%
Máquina No.5	ítem 15	100800	87156	116%
Máquina No.6	ítem 16	264960	256500	103%
Máquina No.6	ítem 17	77280	72600	106%
Máquina No.6	ítem 18	342240	335412	102%
Máquina No.7	ítem 19	252000	241832	104%

Fuente. - Planta envasadora de aceites y grasas

La plantilla estándar actual es de 92 personas y de acuerdo a 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 2018, 2019 y 2020 desde enero hasta septiembre y con el pronóstico obtenido de octubre a diciembre. El incremento en ventas del 2020 en promedio no supera el 10 %. Ver figura 4.1

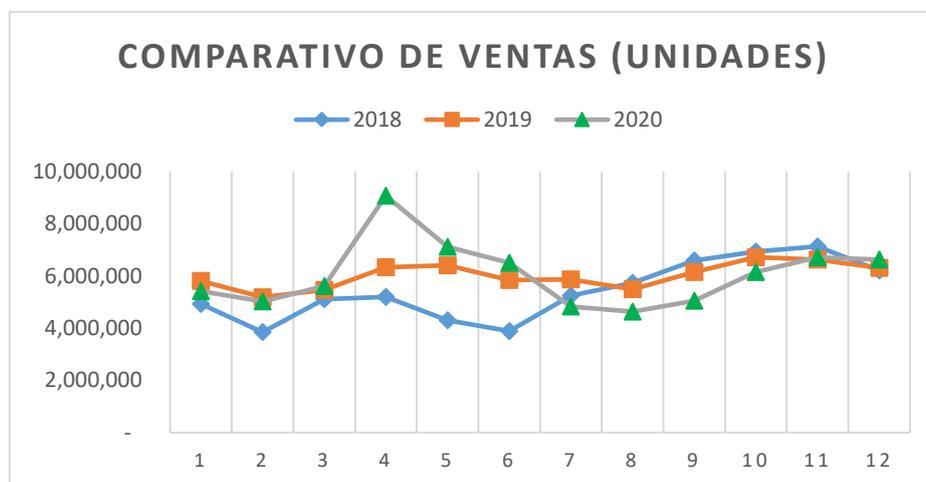


Figura No. 4.1 Comparativo de ventas 2018-2019-2020
Fuente. - Planta envasadora de aceites y grasas

Debido a la declaración de pandemia por COVID 19, el mercado reaccionó con una demanda atípica en abril, mayo y junio del 2020. Regresando a su comportamiento habitual desde julio hasta septiembre y su pronóstico del último trimestre del año no se genera una variación significativa que demande mayor capacidad de maquinaria, ni de mano obra que la requerida durante el 2019.

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 4.14. 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 4.14 Días de producción planificados mes de abril 2020

LINEAS	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
Total general	190

Fuente. - Planta envasadora de aceites y grasas

El costo extra asociado a esta planificación es de \$ 23.800 USD como se puede ver en la tabla 4.15

Tabla 4.15 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
Costo MO extra por día \$ Usd.			\$ 23.800,00	

Fuente. - Planta envasadora de aceites y grasas

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.

Tabla 4.16 Días planificados con nueva plantilla de mano de obra para contratar

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

Fuente. - Planta envasadora de aceites y grasas

Se requiere de la contratación de 17 personas adicionales, incrementado los turnos para reducir los días planificados de producción para este mes. Ver tabla 4.16. El nuevo costo generado por esta planificación se puede ver en la tabla 4.17

Tabla 4.17 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	99	0	\$ -	0
18	99	0	\$ -	6
19	99	0	\$ -	6
20	99	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
Costo MO extra por día \$ Usd.			\$ 14.160,00	

Fuente. - Planta envasadora de aceites y grasas

El ahorro es de \$ 9460 USD. Ver tabla 4.18. 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 4.18 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

Fuente. - Planta envasadora de aceites y grasas

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 4.19.

Tabla 4.19 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	109	92	92	92	97	99	99	98

Fuente. - Planta envasadora de aceites y grasas

CAPÍTULO 5

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

1. Se elabora propuesta de optimización de la capacidad de maquinaria y mano de obra de la planta envasadora de aceites y grasas evidenciando que el mayor número de horas extras generadas corresponden a horas planificadas para la producción durante fines de semana con presentaciones que requieren un alto número de personal asignado. La aplicación del modelo ha logrado incrementar la productividad de sus líneas hasta el 11 % y generado un ahorro aproximado de \$ 20.000 usd mensuales en horas extras de un plan generado manualmente.
2. Con los datos obtenidos se desarrolló de acuerdo a las restricciones propias del proceso, el modelo JSSP en el software Wolfram para generar el plan de producción y la planificación de mano de obra necesaria para la fabricación de los ítems solicitados por la demanda.
3. La planificación de mano de obra generada por día y con un horizonte mensual permite decidir de 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.
4. 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.

5.2. RECOMENDACIONES

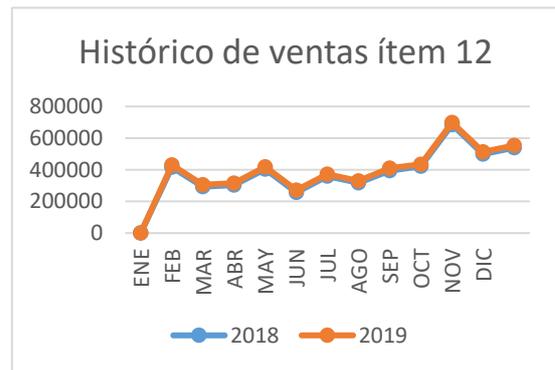
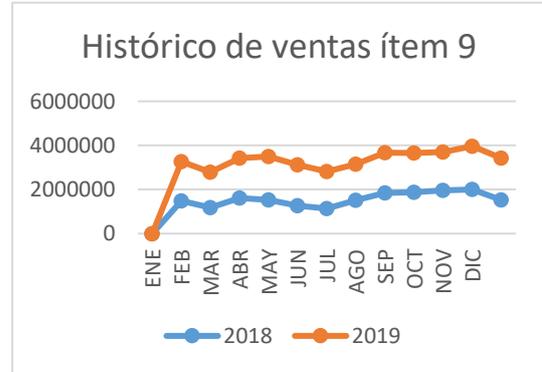
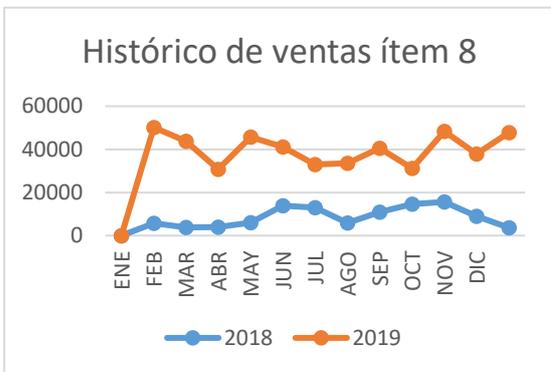
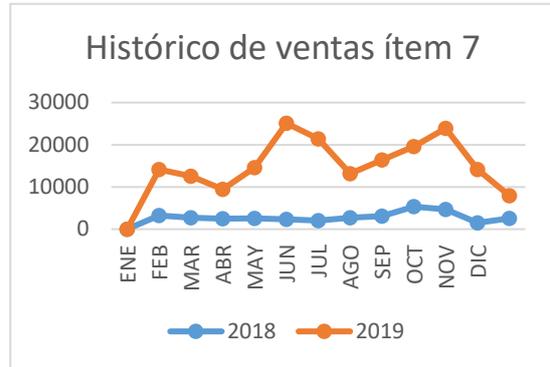
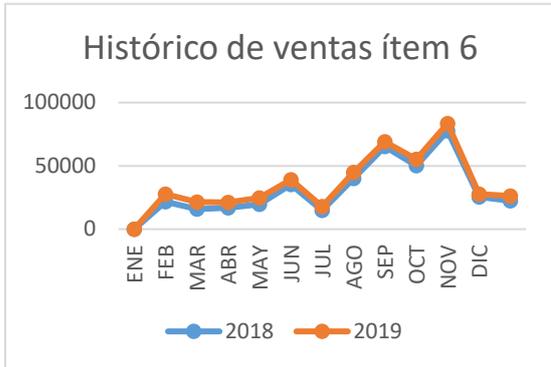
1. Se sugiere implementar el modelo desarrollado en Wolfram para la programación de producción en remplazo del plan manual elaborado sólo en función de la demanda presupuesta sin considerar los costos generados por la planificación de turnos de fabricación de ciertos productos que requieren mucha dotación de personal durante los fines de semana.
2. 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.
3. Se sugiere la contratación de 5 personas para reemplazar el personal que se va de vacaciones y evitar el sobre costo para cubrir su ausencia.

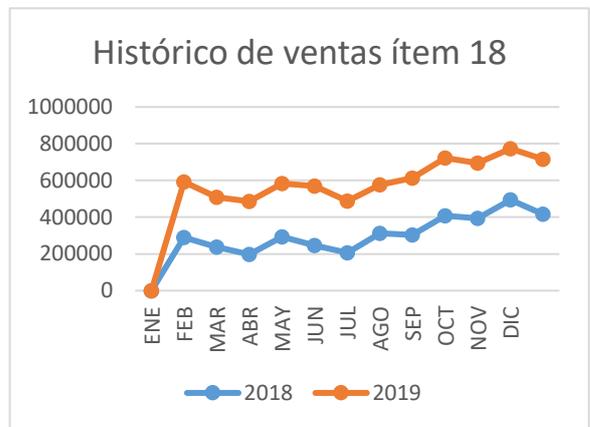
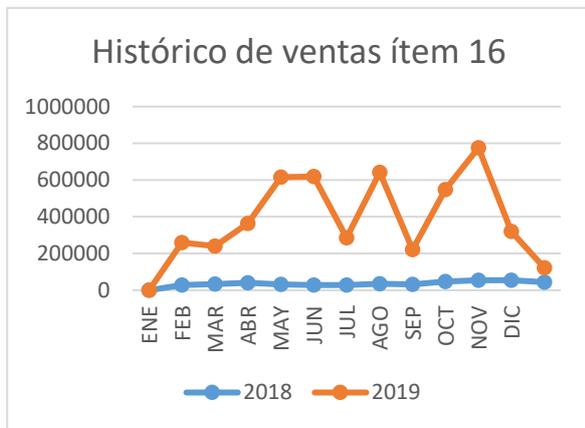
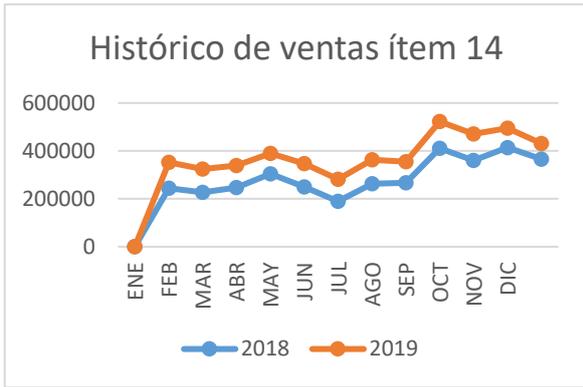
Bibliografía

- Allen, R. (2009). *The British Industrial Revolution in Global Perspective*. Cambridge: Prensa de la Universidad de Cambridge.
- Al-Sabaan&Magbool, R. (s.f.). *Despidos, afrontamiento y compromiso: impacto de los despidos en los empleados y las estrategias utilizadas para hacer frente a los despidos*. Obtenido de <http://www.sciedu.ca/journal/index.php/jms/article/view/4746>
- Amadeo, K. (2018). The balance.
- Anaya, J. J. (2007). *Logística Integral*. Madrid: ESIC EDITORIAL.
- Bell&Anderson. (2002).
- Bolat, & Yano. (1989). *Sequencing to minimize work*. Obtenido de <http://www.prothius.com/JIT/ThesisJCB-W.pdf>
- Chicaiza&Sandoya. (2015). *Dspace ESPOL*. Obtenido de <http://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/handle/123456789/30612>
- Delgado, J. E. (2012). *Optimización de la programación scheduling en talleres mecanizados*. Obtenido de file:///C:/Users/Jocelyn/Desktop/TESIS%20YADIRA%20VELASTEGUI/JOSE_EDUARDO_MARQUEZ_DELGADO%20para%20yadi.pdf
- Fogg&Harrington. (2009). The impact of the Great Recession upon the unemployment of Americans with disabilities.
- Gaitán&Ruiz, O. (2017). “Mixed Integer Lineal Programming Model to Schedule Flexible Job-Shop Systems in Make to Order Environments”.
- Gholizadeh&Tavakkoli-moghaddam. (2012). “Minimizing the Makespan in a Flow Shop Scheduling Problem with Sequence-Dependent Setup Times and Periodic Maintenance by a Hybrid Algorithm”.
- Goss. (2018).
- Heizer-Render. (2007). *Dirección de la producción y de operaciones. Decisiones tácticas 8 va edición*. Madrid: Pearson educación S.A.
- Hillier-Liberman. (2010). *Introducción a la Investigación de Operaciones 8 va Edición*. México: Mc Graw Hill Educación.
- Ingenioempresa,2020. (2020). Obtenido de <https://ingenioempresa.com/planeacion-de-la-produccion/>
- Ivert&Jonsson. (2010). The potential benefits of advanced planning and scheduling systems in sales and operations planning. *Job ShopScheduling*. (s.f.).
- Juan Bautista, J. C. (Febrero de 2007). *ResearchGate*. Obtenido de ResearchGate: https://www.researchgate.net/publication/304336070_Procedimientos_de_secuenciacion_en_lineas_de_montaje_minimizando_la_sobrecarga
- Logística México, 2. (2014). Obtenido de <http://www.logisticamx.enfasis.com/articulos/69388-pronosticos-y-administracion-la-demanda->
- Márquez, J. E. (2012). *Optimización de la programación Scheduling*. Obtenido de file:///C:/Users/VELASTEGUI_Y/Documents/Tesis%202020/PROGRAMACION%20LINEAL%20JOSE_EDUARDO_MARQUEZ_DELGADO.pdf
- Muñoz Negrón, D. F. (2009). *Administración de Operaciones-Enfoque de administración de procesos de negocios*. México: CENGAGE LEARNING.
- Padu, V. (2003). *Universidad de Buenos Aires*. Buenos Aires: Universidad de Buenos Aires.

- Puente, G. (2018). *Programación Lineal para la toma de decisiones*. Riobamba: Dirección de publicaciones científicas ESPOCH.
- Rahmani, A. &. (2015). Impacto de la tecnología de la información en Gestión de Producción en Pequeñas y Industrias medianas.
- Rocco. (2015). *Metodología heurística para la asignación de turnos en una farmacia* .
- Sánchez&Montoya. (2015). “Mathematical model of workforce scheduling problem in flow shop with makespan minimization” .
- Science, N. (2018). Obtenido de <https://www.nsf.gov/statistics/2018/nsb20181/assets/nsb20181.pdf>
- Suñé, F. (2016). *Programación Lineal. Métodos cuantitativos para la toma de decisiones*. Barcelona: Iniciativa digital Politécnica. Publicaciones académicas UPC.
- Tsai. (1995). Mixed-model sequencing to minimize utility work and the risk of conveyor. *Management Science*, 485-495.
- Uppala. (2016). “Modeling and Optimizing of Strategic / Tactical Production Planning Problems”.
- Uz-zaman&Hazan. (2014). Logistic Regression.
- Yano C., R. R. (1991). Sequencing to minimize work overload in assembly lines with product options. *Management Science*, vol 37, nº5, 572-568.
- Zamarripa. (2013). *Optimización de la producción de una línea de manufactura mediante un modelo matemático*”.

ANEXO D: HISTÓRICO DE VENTAS POR ÍTEM 2018 VS 2019





ANEXO E: PROGRAMACIÓN WOLFRAM

JSST-19092020-PLANTA ENVASADO.nb - Wolfram Mathematica 12.1 Student Edition - uso personal solamente

Archivo Edición Insertar Formato Celda Gráficos Evaluación Paletas Ventana Ayuda

WOLFRAM MATHEMATICA | EDICIÓN PARA ESTUDIANTES

Demostraciones | MathWorld

DATOS

```
In[ ]:= items = {1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 12, 14, 15, 16, 17, 18, 19}; (*Items*)
maq = {1, 2, 3, 4, 5, 6, 7}; (*Maquinas*)
maq = {{1, 2, 3, 4}, {5, 6, 7, 8}, {9}, {10, 11, 12}, {13, 14, 15}, {16, 17, 18}, {19}};
turno = {1, 2, 3}; (*turno*)
dias = {1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30}; (*dias*)
semana = {1, 2, 3, 4}; (*semana*)
Personal = {9, 9, 9, 9, 6, 6, 6, 6, 8, 5, 5, 5, 4, 5, 15, 5, 5, 4, 3};
Produccion = {90, 90, 90, 90, 18, 18, 18, 18, 66, 4, 4, 2, 30, 30, 23, 23, 35};
PlanProduccion2 = {903602, 432614, 1093874, 292500, 45707, 6872, 12150, 49376, 1974084, 7977, 15988, 848, 722456, 120451, 87156, 256500, 72600, 335412, 241832};
PlanProduccion = Table[PlanProduccion2[[i]] / 1, {i, Length[PlanProduccion2]}];
```

ALGORITMO_PRODUCCION

```
In[ ]:= Producido = Table[0, {i, Length[items]}];
itemsN = Table[0, {i, Length[items]}];
Diferencias = Table[-1, {i, Length[items]}];
Planificacion = Table[0, {i, Length[items]}, {j, Length[maq]}, {k, Length[dias]}, {t, Length[turno]}];
PersonalOperativo = Table[0, {i, Length[items]}, {j, Length[maq]}, {k, Length[dias]}, {t, Length[turno]}];

i = 1; j = 1; k = 1; s = 1; t = 1; h = 1; Yadura = 0; ii = 1;
While[k ≤ Length[dias],

While[t ≤ Length[turno],
  mientras longitud
  j = 1;
  While[j ≤ Length[maq],
    mientras longitud
    ii = 1; laura = 1; i = 1;
    While[ii ≤ Length[maq[[j]]],
      mientras longitud
      u = maq[[j]][[ii]];
      If[Producido[u] - PlanProduccion[u] < 0 && laura == 1, i = u; laura = 0]; ii = ii + 1;
      si

    asig = If[Position[maq[[j]], i] == {}, 0, 1];
    si posición
    asigII = If[Count[Planificacion[[1 ;; All, j, k, t]], 0] ≥ 19, 1, 0];
    si conteo todo
    asigIII = If[Producido[[i]] - PlanProduccion[[i]] >= 0, 0, 1];
    si
    asigIV = 1;
    yoshi = 1;
    Which[j == 2 ,
      cuál
      If[Count[Planificacion[[i, j, k, 1 ;; All]], 0] ≥ 3, yoshi = 1, yoshi = 0],
      si conteo todo
      j == 4,
      If[Count[Planificacion[[i, j, k, 1 ;; All]], 0] ≥ 3, yoshi = 1, yoshi = 0],
      si conteo todo
      j == 7,
      If[Count[Planificacion[[i, j, k, 1 ;; All]], 0] ≥ 3, yoshi = 1, yoshi = 0];
      si conteo todo
    ]
  ]
];
```

```

Planificacion[[i, j, k, t]] = Produccion[[i]] * 480 * asig * asigII * asigIII * asigIV * asigV;
PersonalOperativo[[i, j, k, t]] = Personal[[i]] * asig * asigII * asigIII * asigIV * asigV;
Producido[[i]] = Sum[Planificacion[[i, j, k, t]], {j, Length[maq]}, {k, Length[dias]}, {t, Length[turno]};
    [suma          [longitud          [longitud          [longitud

j++;
t++;
k++;

```

MANEJO_DATOS

```

In[ ]:= i = 1; j = 1; k = 1; s = 1; t = 1; h = 1; Yadira = 0; ii = 1;
Presentacion = Table[0, {i, Length[items]}, {k, Length[dias]}, {t, Length[turno]};
    [tabla          [longitud          [longitud          [longitud
PresentacionPersonas = Table[0, {i, Length[items]}, {k, Length[dias]}, {t, Length[turno]};
    [tabla          [longitud          [longitud          [longitud
While[k ≤ Length[dias],
    [mientras [longitud
    t = 1;
    While[t ≤ Length[turno],
        [mientras [longitud

        j = 1;
        While[j ≤ Length[maq],
            [mientras [longitud

            i = 1;
            While[i ≤ Length[items],
                [mientras [longitud

PlanMaestro = Table[0, {i, Length[items]}, {l, Length[turno] * Length[dias]};
    [tabla          [longitud          [longitud          [longitud
PlanMaestroI = Table[0, {i, Length[items]}, {l, Length[turno] * Length[dias]};
    [tabla          [longitud          [longitud          [longitud

While[k ≤ Length[dias],
    [mientras [longitud
    t = 1;
    While[t ≤ Length[turno],
        [mientras [longitud

        i = 1;
        While[i ≤ Length[items],
            [mientras [longitud

            PlanMaestro[[i, l]] = Presentacion[[i, k, t]];

            PlanMaestroI[[i, l]] = PresentacionPersonas[[i, k, t]];

        i++;
        l++;
        t++;
        k++;

(*TURNO*)

i = 1; j = 1; k = 1; s = 1; t = 1; h = 1; Yadira = 0; ii = 1; CE = 40
ManoObra = Table[0, {k, Length[dias]};
    [tabla          [longitud
ManoObraII = Table[0, {k, Length[dias]};
    [tabla          [longitud
ManoObraIII = Table[0, {k, Length[dias]};
    [tabla          [longitud
ManoObraIII = Table[0, {k, Length[dias]};
    [tabla          [longitud

```

```

ManoObraII = Table[0, {k, Length[dias]};
|tabla |longitud
ManoObraIII = Table[0, {k, Length[dias]};
|tabla |longitud
ManoObraIII = Table[0, {k, Length[dias]};
|tabla |longitud
ManoObraIV = Table[0, {k, Length[dias]};
|tabla |longitud
AnálisisManoObra = {};
While[k ≤ Length[dias],
|mientras |longitud

    ManoObra[[k]] = Sum[PresentacionPersonas[[i, k, t]], {i, 1, Length[items]}, {t, 1, Length[turno]}];
|suma |longitud |longitud
    ManoObraII[[k]] = If[ManoObra[[k]] < 92, 0, 92 - ManoObra[[k]];
|si
    ManoObraIII[[k]] = ManoObraII[[k]] * 40;
    ManoObraIV[[k]] = If[ManoObra[[k]] < 92, 92 - ManoObra[[k]], 0];
|si

    k++;
AppendTo[AnálisisManoObra, {ManoObra, ManoObraII, ManoObraIII, ManoObraIV}];
|añade al final

Which[opcion == "PlanPlanificacionDiaria",
|cuál

Manipulate[MatrixForm[Presentacion[[1 ;; All, k, 1 ;; All]],
|manipula |forma de matriz |todo |todo
    TableHeadings → {{1, "2", "3", "4", "5", "6", "7", "8", "9", "10", "11", "12", "13", "14", "15", "16", "17", "18", "19"}, {"t1", "t2", "t3"}},
|cabeceras de tabla
    {{k, 1, "Días"}, Range[Length[dias]]}],
|rango |longitud
opcion == "PlanRecursosDiaria",

Manipulate[MatrixForm[PresentacionPersonas[[1 ;; All, k, 1 ;; All]],
|manipula |forma de matriz |todo |todo
    TableHeadings → {{1, "2", "3", "4", "5", "6", "7", "8", "9", "10", "11", "12", "13", "14", "15", "16", "17", "18", "19"}, {"t1", "t2", "t3"}},
|cabeceras de tabla
    {{k, 1, "Días"}, Range[Length[dias]]}],
|rango |longitud
opcion == "Análisis",

Show[
|muestra
    MatrixForm[AnálisisManoObra,
|forma de matriz
    TableHeadings → {{1, "2", "3", "4", "5", "6", "7", "8", "9", "10", "11", "12", "13", "14", "15", "16", "17", "18", "19", "20", "21", "22", "23", "24",
|cabeceras de tabla
    "25", "26", "27", "28", "29", "30"}, {"Gente_a_necesitar", "Gente_Necitada_a_Adicionar", "Costo_Adicional_Implica", "Personal_Desocupado_de_la_Plantilla"}]}],
{opcion, {"PlanPlanificacionDiaria", "PlanRecursosDiaria", "Análisis"}}]

```