

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL



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

**PROYECTO DE GRADUACIÓN
PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:**

“MAGÍSTER EN CONTROL DE OPERACIONES Y GESTIÓN LOGÍSTICA”

TEMA

**OPTIMIZACIÓN DE LÍNEA DE PRODUCCIÓN PARA EMPRESA DE
CONSUMO MASIVO UTILIZANDO ALGORITMO DE SCHEDULING.**

AUTOR

PAUL ANDRADE ALVARADO

Guayaquil - Ecuador

AÑO

2019

DEDICATORIA


Le dedico esta tesis a mi padre (+) por el apoyo incondicional y constante insistencia hacia la preparación y desarrollo intelectual, y por el sinnúmero de consejos en todo momento de mi vida que guiaron mi camino hacia la realización de mis metas profesionales y personales.

AGRADECIMIENTO

A Dios, a mi madre, a mis hermanos y a todas las personas que de uno u otro modo me apoyaron y colaboraron en la realización de este trabajo.

DECLARACIÓN EXPRESA

La responsabilidad por los hechos y doctrinas expuestas en este Proyecto de Graduación, me (nos) corresponde(n) exclusivamente; el patrimonio intelectual del mismo, corresponde exclusivamente a la **Facultad de Ciencias Naturales y Matemáticas, Departamento de Matemáticas** de la Escuela Superior Politécnica del Litoral.



Ing. Paul Andrade Alvarado

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN



P.h.D. Kleber Barcia Villacreses
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL



Mgtr. Brenda Cobeña Terán
DIRECTOR DE PROYECTO



M.Sc. Nadia Cárdenas Escobar
VOCAL DEL TRIBUNAL

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	I
AGRADECIMIENTO	II
DECLARACIÓN EXPRESA.....	III
ÍNDICE GENERAL	V
ÍNDICE DE TABLAS	VII
ÍNDICE DE FIGURAS	VIII
CAPÍTULO I.....	1
1.1. Introducción.....	1
1.2. Descripción del problema.....	2
1.3. Situación actual de la empresa.....	5
1.4. Motivación.....	6
1.5. Objetivo general.....	7
1.6. Objetivos específicos	7
1.7. Alcance del modelo y limitaciones del proyecto.....	7
1.8. Metodología.....	12
1.9. Estructura del proyecto	12
CAPÍTULO II.....	13
MARCO TEÓRICO.....	13
2.1 Definiciones	13
CAPÍTULO III	25
MODELO MATEMÁTICO.....	25
3.1. Diseño e implementación del modelo	25

3.2. Planteamiento del problema	26
3.3. Planteamiento del modelo exacto	32
3.4. Resultados obtenidos.....	38
CAPÍTULO IV	42
ANÁLISIS DE RESULTADOS	42
4.1. Análisis de la producción	42
4.2. Análisis del tiempo muerto.....	43
4.3. Comparación de resultados modelo propuesto vs modelo actual.....	44
4.4. Comprobación de la hipótesis	45
4.5. Calendarización resultado	46
CAPÍTULO V.....	48
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	48
5.1. Conclusiones.....	48
ANEXOS.....	50
ANEXO 1 Resultados NEOS SOLVER	50
ANEXO 2 ALGORITMO DE REORDENAMIENTO EN MATLAB	60
Bibliografía.....	63

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Principales diagramas de Gantt.....	3
Tabla 2. Eficiencia Global de Equipos (OEE) para Oct-Nov-Dic 2017	8
Tabla 3. Listado de Ítems en Línea de Producción para Empresa	11
Tabla 4. Volumen de producción por tiempo en Formato 1	27
Tabla 5. Volumen de producción por tiempo en Formato 2	27
Tabla 6. Tabla de Turnos de producción.....	28
Tabla 7. Tabla de Variables de Decisión.....	30
Tabla 8. Tabla de Restricciones.....	31
Tabla 9. Cantidad de lotes de producción por turno por día según combinación	33
Tabla 10. Tiempo de producción por lote según combinación	34
Tabla 11. Tabla de Resultados.....	42
Tabla 12. Tabla de tiempos muertos Modelo Actual.....	43
Tabla 13. Tabla de tiempos muertos Modelo Propuesto.....	44
Tabla 14. Tabla Comparativa Modelo Actual vs. Propuesto	44
Tabla 15. Tabla de Evaluación de Hipótesis	46

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Proceso de Planeamiento de Suministro	6
Figura 2	Diagrama de Pareto para Problemas de Productividad	10
Figura 3	Tiempos de Cambios (Formato/Sabor) por Semanas	11
Figura 4	Esquema de las principales operaciones y actividades de planeación .	16
Figura 5	Plan de Producción.....	18
Figura 6	Línea de producción automatizada	20
Figura 7	Línea de producción manual.....	21
Figura 8	SETS de programación.....	33
Figura 9	Estructura de programación en GAMS para lotes de producción	34
Figura 10	Estructura de programación en GAMS para tiempos de producción.	35
Figura 11	Estructura de programación en GAMS para demanda de ventas	36
Figura 12	Configuración de variables en GAMS	36
Figura 13	Declaración de ecuaciones en GAMS	37
Figura 14	Estructura de restricciones en GAMS	37
Figura 15	Ejecución del modelo en GAMS	38
Figura 16	Calendarización obtenida en GAMS.....	39
Figura 17	Resultados en GAMS	40
Figura 18	Ingreso horas cambio de sabor.....	40
Figura 19	Resultados plan de producción	41
Figura 20	Resumen de Resultados.....	41
Figura 21	Gráfica de Modelo Actual de Tiempos muertos.....	43
Figura 22	Gráfica de Modelo Propuesto de tiempos muertos	44
Figura 23	Gráfica de Comparación de Modelo Actual vs. Propuesto	45
Figura 24.	Calendarización de Plan de Producción	46
Figura 25.	Resumen de Resultados.....	47

CAPÍTULO I

1.1. Introducción

Los productos de bebidas tienen un consumo de carácter masivo y la industria dedicada a su elaboración tiene una importante relevancia dentro de la producción del país. Su mercado ha sido bien dinámico y ha crecido de forma considerable en lo que va de la década, aún con las restricciones y tasas a los envases, la semaforización de bebidas y otras variables externas. Según el INEC, la elaboración de bebidas no alcohólicas embotelladas, en las que se considera a las gaseosas, generó ventas por USD 1 015 millones en el 2015, manteniendo un crecimiento constante, por lo menos desde el 2012 cuando las ventas fueron por USD 746 millones (Ecuadorwillana, 2017).

El consumo de esta bebida en el país alcanza el 81,5% de la población, siendo los adolescentes entre 15 a 19 años el rango de edad con mayor prevalencia de ingesta de este producto, según la encuesta Ensanut en 2016; además, se ubica al país en el décimo puesto entre otros de América Central y del Sur al consumir 63,8 litros per cápita (El Telegrafo, 2016)

La situación económica actual del país sumado a los impuestos a las bebidas azucaradas, en conjunto con la crisis mundial, obligan a que las decisiones de inversión en activos sean previamente analizadas en función de estudios que simulen y optimicen los resultados de varios tipos de estrategias que se encuentren alineados a los objetivos del negocio. Una adecuada simulación de los parámetros más relevantes permitirá optimizar recursos que maximicen los beneficios y que impacten en los resultados finales de la compañía.

1.2. Descripción del problema

La tesis se centrará en la planeación estratégica de la producción para determinar el nivel de capacidad general de los recursos con la utilización efectiva del capital, instalaciones y equipos que respalden de forma eficiente la estrategia competitiva de la empresa. El nivel de capacidad seleccionado luego de simular y evaluar las mejores alternativas tendrá un impacto crítico en el ritmo de respuesta del negocio, tanto en su estructura de costos como en sus políticas de inventarios.

Cuando la capacidad es insuficiente, entonces existe pérdida de ventas y aumento sostenible de clientes insatisfechos. En cambio, cuando la capacidad es excesiva, una compañía puede verse en la necesidad de reducir precios o definir estrategias comerciales para estimular la demanda.

La planificación de la producción tiene inicios con el nacimiento de la Revolución Industrial, donde aparecieron formalmente talleres centralizados para fabricar los productos requeridos, estos talleres serían en futuro las fábricas modernas. Al principio se producía pocos productos en grandes cantidades, pero a finales del siglo XIX empezó a existir preocupación por la maximización de la productividad. Es decir, se empezó a darle importancia a la planificación para alcanzar un nivel alto de producción por encima de los volúmenes teóricos.

Cuando esta planificación era usada consideraba un listado del inicio y finalización del trabajo y no daba información de la duración total de cada orden o del tiempo requerido para completar las operaciones individuales (Roscoe & Freark, 1971)

A inicios del Siglo XX las empresas manufactureras empezaron a fabricar un mayor portafolio de productos lo que incrementó la complejidad de los administradores y gracias a la administración científica esta complejidad pudo ser controlada. Las fábricas crecieron considerablemente, lo que originó que la reducción de costos empiece a ser vista como un

objetivo fundamental por los responsables, buscando alcanzar economías a escalas y costos unitarios de producción muy bajos.

En principio las actividades de trabajo eran coordinadas libremente por los propios operadores según su conveniencia, por ello Frederick Taylor propuso que sean los administradores los que realicen la planificación de actividades, separando de esta manera la planificación de la ejecución de la producción justificando el uso de métodos formales de planificación y creando áreas de control de producción. (Carolina, 2001). A partir de los enunciados de Taylor las empresas destinaron personal para planificar, administrar inventarios y monitorear sus operaciones. Las áreas de control encuentran un rol importante ya que eran las encargadas de generar el plan maestro de producción basado en requerimientos en firmes y en la capacidad de la planta.

La falta de métodos estandarizados y la enorme informalidad entre las oficinas de producción de las diferentes fábricas Henry Gantt desarrolló un innovador diagrama como herramienta visual para control de la producción (ver Tabla 1). Este diagrama permite indicar la secuencia de los trabajos y monitorear su avance.

Tabla 1. Principales diagramas de Gantt

Tipo de Diagrama	Unidad	Medida	Representación de Tiempo	Fuentes
Balance diario de trabajo	Parte u operación	Cantidad producida	Filas para cada día, las barras muestran datos de inicio y datos de fin	Gantt, 1903; Rathe, 1961
Registro de personal	Trabajador	Cantidad de trabajo hecho cada día	3 o 5 columnas por cada día en dos semanas	Gantt, 1981; Rathe, 1961
Registro de máquina	Máquina	Cantidad de trabajo hecho cada día	3 o 5 columnas por cada día en dos semanas	Gantt, 1919, 1981; Rathe, 1961
Diagrama de ubicación	Máquina	Avance de tareas asignadas, medidas como tiempo	3 o 5 columnas por cada día en dos semanas	Clark, 1942
Diagrama de trabajo de Gantt	Tipo de máquina	Tareas programadas y el total de trabajo por fecha	Una columna por cada día para dos meses	Mitchell, 1939
Diagrama de trabajo de Gantt	Orden de trabajo	Trabajo completado para una fecha, medido como tiempo	Una columna por cada día para dos meses	Mitchell, 1939
Diagrama de secuenciamiento	Tareas en un trabajo	Inicio y fin de cada tarea	El eje horizontal dividido en 45 días	Muther, 1944

Diagrama de avance	Producto	Cantidad producida cada mes	5 columnas para cada mes para cada año	Gantt, 1919, 1981; Rathe, 1961
Diagrama de órdenes de trabajo	Orden de trabajo	Cantidad producida cada mes	5 columnas para cada mes para cada año	Gantt, 1919, 1981; Rathe, 1961

Elaborado por: Autor

A mediados de la década de los sesenta se empezó a trabajar en algoritmos computacionales orientados a la planificación de producción, es así como IBM desarrolló el sistema de control e información de la producción en 1965 contribuyendo al uso de computadores para la administración de la producción.

Los primeros sistemas nacieron como proyectos universitarios de investigación los cuales usaron computadores centrales y terminales. La computadora central actualizaba información proveniente de los terminales incluyendo registros para máquinas y empleados, materiales consumidos y colas en las estaciones de trabajo. Esta información procesada generaba para cada estación tareas pendientes y lista de despacho que se requería sean procesadas. La lista de despachos incluía factores como tiempo de proceso, fecha de finalización, tiempos de espera, operaciones pendientes o costos de producción.

Los programas de planeamiento evolucionaron desde proyectos de investigación hacia sistemas comerciales, y uno de los primeros fue el Sistema de Administración Logística (LMS por sus siglas en inglés) desarrollado por IBM a mediados de 1980 como una herramienta para modelar los recursos en sus instalaciones de producción de semiconductores. Actualmente el plan de producción es un eslabón importante de la Administración de la Cadena de Suministros (Supply Chain Management)

Jay Forrester en 1961 demostró la posibilidad de que la demanda registrada por los agentes participantes en la gestión del flujo de productos presente una distorsión creciente a medida que se aleja del mercado, este fenómeno fue denominado como “efecto látigo” y presenta el origen conceptual de la Cadena de Suministros (SCH) (Forrester, 1961).

Forrester sugería que el éxito de las empresas dependía de la interacción entre información, insumos, pedidos, dinero, mano de obra y equipos.

1.3. Situación actual de la empresa

La Compañía NEXO es una empresa de consumo masivo dedicada a embotellar bebidas gaseosas, agua, jugos, néctares, isotónicos, hidratantes y energizantes que se encuentra dentro del TOP 5 de las más importantes del país y está ubicada en la ciudad de Guayaquil, cuenta con un portafolio de más de sesenta productos, de los cuales 3 marcas son líderes del mercado; posee doce líneas de producción y centros de distribución a nivel nacional. Esta compañía tiene un modelo de Administración de Cadena de Suministros (Supply Chain Management) y basa su gestión en cuatro pilares:

- ✓ Planeación de Demanda (Demand Planning)
- ✓ Planeación de Distribución (Distribution Requirement Planning, DRP)
- ✓ Planeación de Producción (Production Planning)
- ✓ Planeación de Materiales (Material Requirement Planning, MRP)

El ciclo de planeamiento para la empresa por ser de consumo masivo es de manera semanal. El primer eslabón de la cadena de suministros en desarrollar es la Planeación de Demanda, donde se actualiza la información histórica y utilizando un software estadístico se pronostica la demanda con un horizonte de doce semanas, este resultado también conocido como “Baseline” junto con información de marketing y acciones promocionales del área comercial crean un plan de demanda sin restricción. Este plan se evalúa en la herramienta DRP (Distribution Requirement Planning) para planificar la distribución de productos dentro de la Cadena de Suministros y controlar el inventario en los centros de distribución.

El DRP integra la información de inventarios con actividades de la cadena de suministros, considerando parámetros como el inventario de seguridad, el tiempo de reposición del inventario, entre otros. Una vez obtenido el plan de distribución, esta

información será utilizada para la Planeación de Producción donde se detallan las cantidades y el tipo de fabricación de los productos previstos a vender para el siguiente período, esto permite conocer los recursos humanos y materiales que se necesitarán para su cumplimiento.

Luego, se desarrolla el MRP (Material Requirement Planning) el cual traduce el plan de producción en necesidades reales de materiales, en fechas y cantidades. El MRP funciona como un sistema de información, con el fin de gestionar los inventarios y programar de manera eficiente los pedidos de reabastecimiento de los proveedores. A medida que va avanzando el proceso, se van considerando restricciones como falta de insumos, falta de unidades de transporte, falta de espacio de almacenamiento o la avería de alguna línea.

Estas restricciones, de ser el caso, van a ajustar el plan de demanda sin restricción que se elaboró inicialmente. Al final del proceso se lleva a cabo una Reunión S&OP donde se expone a todas las áreas involucradas el plan a ejecutar para la siguiente semana. (Ver Figura 1)

Figura 1 Proceso de Planeamiento de Suministro



Fuente: (Carolina, 2001)

1.4. Motivación

Con este trabajo se aspira a contribuir con la organización en la reducción de los tiempos muertos de manera que puedan optimizar sus operaciones disminuyendo también costos.

1.5. Objetivo general

El objetivo principal de esta investigación es reducir en al menos un uno por ciento el tiempo muerto en una línea de producción, utilizando un algoritmo de Scheduling aumentando la disponibilidad de producto para el 4° Trimestre de 2017.

1.6. Objetivos específicos

Los objetivos específicos de esta investigación son:

- ✓ Recopilar datos sobre los tiempos de cambios de formato y el lavado de los equipos en la línea de producción.
- ✓ Relacionar la información del plan de producción con el pronóstico de ventas y los inventarios.
- ✓ Implementar un modelo matemático que contribuya a obtener el Scheduling con los datos obtenidos.
- ✓ Recomendar acciones de mejora basados en los resultados.

1.7. Alcance del modelo y limitaciones del proyecto

Para este caso de estudio solamente evaluaremos la planeación de producción poniendo foco en el plan de producción de una Línea embotelladora de gaseosas y jugos. Una vez obtenido el plan maestro de producción (Master Production Schedule, MPS) el Planeador de Producción genera manualmente la secuencia de producción y asignación de mano de obra requerida para las tareas en función de la experiencia sin considerar ninguna técnica de optimización formal. Este proceso manual demora alrededor de dos horas y se repite a diario lo que facilita a que exista algún error involuntario y se afecte el cumplimiento del plan.

Para medir el número de paradas que registra una Línea, el área de producción utiliza el indicador de Eficiencia Global de los Equipos (Overall Equipment Effectiveness, OEE). Con este indicador se puede identificar los motivos de las paradas y el tiempo que representa cada una. Esta información se registra de manera diaria por los supervisores de todas las Líneas. En la Tabla 2 adjunto se muestra los resultados obtenidos en el último trimestre del 2017 para la línea de producción de bebidas gaseosas y jugos que será de estudio en la presente tesis. Los porcentajes de utilización mensual de la línea están alrededor del 60%, mientras que los tiempos de paradas representan el 40% restante.

Tabla 2. Eficiencia Global de Equipos (OEE) para Oct-Nov-Dic 2017

% Utilización 2017		OCT	NOV	DIC	
Producción real / Real production (LTS)		Cajas	5.570.148	5.582.042	5.445.403
A.- Tiempo total de calendario / Calendar Time		Hrs	744,00	720,00	744,00
	Horas no programadas / No programmed Time	Hrs	296,70	278,67	347,48
B.- Tiempo disponible para producción / Available time for production		Hrs	447,30	441,33	396,52
	Reuniones-capacitaciones / Meeting-Training	Hrs	1,45	2,08	2,63
C.- Tiempo operacional disponible / Operational Time		Hrs	445,85	439,25	393,88
	Tiempo de arranque-apagado / Time Start-Stop	Hrs	5,08	14,70	20,82
	Tiempo cambios de sabor/ Time of setup & adj.	Hrs	24,96	30,14	23,85
	Tiempo cambios de tamaño / Time of setup & adj.	Hrs	37,44	45,21	35,77
D.- Tiempo productivo disponible / Production Time		Hrs	378,37	349,20	313,45
	Falta insumos / Lack raw materials	Hrs	1,92	6,00	2,93
	Montacargas-almacén / Forklift-warehouse	Hrs	5,48	17,35	11,93
	Falta Servicios intempestivo (externo) / Lack utilities no programmed	Hrs	5,87	3,33	6,00
	Parada por servicios industriales (interno) / Stoppages due to utilities*	Hrs	0,25	6,77	1,07
	Otros no programados / Others no programmed	Hrs	2,77	6,98	4,87
E.- Tiempo productivo / Running Time		Hrs	362,08	308,77	286,65
	Macro paradas (>5 min) / Macro stoppages (>5 min)** (Calculado)		101,05	48,21	43,63
F.- Tiempo operacional neto / Net operational time (calculado)		Hrs	261,03	260,55	243,02
G.- Porcentaje (%) de Utilización			58,36%	59,04%	61,29%

Elaborado por: Autor

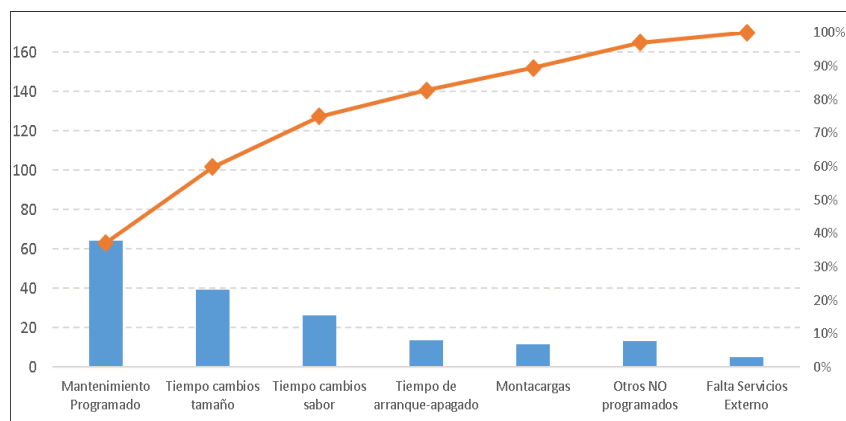
Se puede observar en la Tabla 2 que mensualmente los tiempos perdidos por cambios de sabor y cambios de formato registran valores significativos. Estos tiempos son variables que se las pueden controlar con un adecuado plan de producción.

La empresa por este tipo de inconvenientes incurre en algunos costos innecesarios que a su vez incrementan el costo de producción y merman rentabilidad. Estos costos innecesarios suelen ser:

- ✓ Pago de horas extras al personal de producción, mantenimiento, calidad y bodega.
- ✓ Pago de recorrido no programadas para el personal
- ✓ Pago de servicios complementarios como electricidad, vapor, agua y aire

En la Figura 2 se presenta un diagrama de Pareto de los motivos de parada que se dan mes a mes con la finalidad de conocer la causa raíz de la pérdida de productividad. Se puede observar que el mayor motivo por el que se realizan paradas en línea son los mantenimientos programados que en promedio se asignan 65 horas al mes. Estos mantenimientos obedecen a un plan preventivo que se cumple semanalmente y está liderado por el Área de Mantenimiento de la Empresa ABC. Luego, se aprecia los tiempos de cambios de formato y los tiempos de cambios de sabor que juntos alcanzan un tiempo promedio de 65,8 horas al mes, estos tiempos están muy relacionados con el plan de producción y pueden ser controlados si se ejecuta un adecuado secuenciamiento en la Línea de producción.

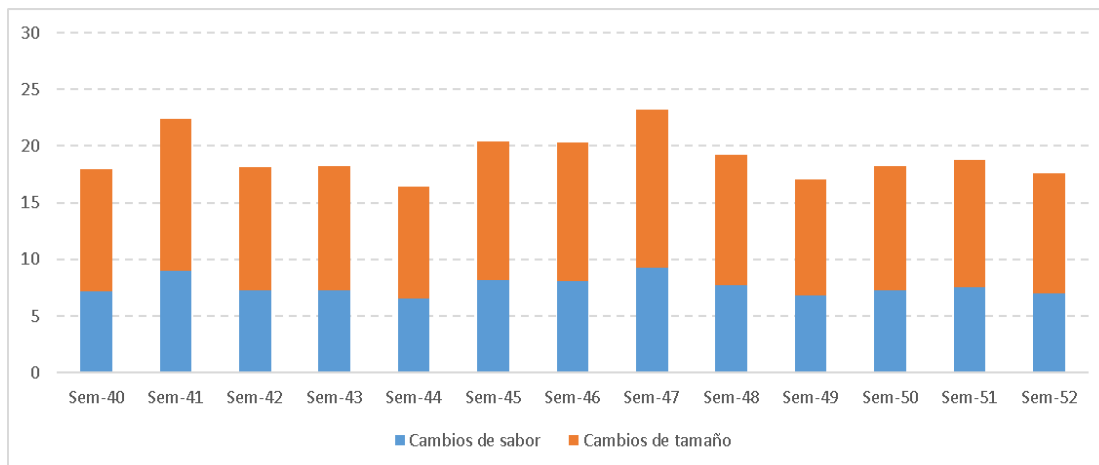
Figura 2 Diagrama de Pareto para Problemas de Productividad



Elaborado por: Autor

La información de estos tiempos de cambios se la ha detallado de manera semanal para evaluar su comportamiento y poder dar un seguimiento adecuado. La Figura 3 muestra los resultados acumulado de estos tiempos durante las últimas trece semanas del 2017. En promedio el tiempo de cambio de “Sabor” de una semana es de 7,6 horas y el tiempo de cambio de “Formato” de una semana es de 11,4 horas. Es decir, en una semana se pierden en promedio un total de 19 horas considerando ambos tiempos. La reducción de estos tiempos tendrá un impacto directo en la productividad de la línea de producción de manera positiva, incrementando las cajas producidas y evitando tener que incurrir en el pago de horas extras.

Figura 3 Tiempos de Cambios (Formato/Sabor) por Semanas



Elaborado por: Autor

La línea de producción para estudio de esta tesis produce dos formatos de bebidas gaseosas y jugos aplacadores en 500ml y 1.000ml. En total la línea produce quince ítems o productos, de los cuales siete pertenecen al formato 1.000ml y ocho al formato 500ml donde apenas uno es de la categoría Jugo. La Tabla 3 muestra el listado de todos los productos que se producen en esta Línea

Tabla 3. Listado de Ítems en Línea de Producción para Empresa

TIPO	FORMATO	SABOR	DESCRIPCION
Gaseosa	0.500 ml	Sabor "A"	Gaseosa 0.500 ml Sabor "A"
Gaseosa	0.500 ml	Sabor "B"	Gaseosa 0.500 ml Sabor "B"
Gaseosa	0.500 ml	Sabor "C"	Gaseosa 0.500 ml Sabor "C"
Gaseosa	0.500 ml	Sabor "D"	Gaseosa 0.500 ml Sabor "D"
Gaseosa	0.500 ml	Sabor "E"	Gaseosa 0.500 ml Sabor "E"
Gaseosa	0.500 ml	Sabor "F"	Gaseosa 0.500 ml Sabor "F"
Gaseosa	0.500 ml	Sabor "G"	Gaseosa 0.500 ml Sabor "G"
Gaseosa	1.000 ml	Sabor "A"	Gaseosa 1.000 ml Sabor "A"
Gaseosa	1.000 ml	Sabor "B"	Gaseosa 1.000 ml Sabor "B"
Gaseosa	1.000 ml	Sabor "C"	Gaseosa 1.000 ml Sabor "C"
Gaseosa	1.000 ml	Sabor "D"	Gaseosa 1.000 ml Sabor "D"
Gaseosa	1.000 ml	Sabor "E"	Gaseosa 1.000 ml Sabor "E"

TIPO	FORMATO	SABOR	DESCRIPCION
Gaseosa	1.000 ml	Sabor "F"	Gaseosa 1.000 ml Sabor "F"
Gaseosa	1.000 ml	Sabor "G"	Gaseosa 1.000 ml Sabor "G"
Jugo	0.500 ml	Sabor "J"	Jugo 0.500 ml Sabor "J"

Elaborado por: Autor

1.8. Metodología

La metodología empleada en diseñar un modelo matemático basándose en el histórico de los datos y de esta manera poder estructurar la función objetivo considerando sus índices, parámetros, variables y restricciones, aplicando finalmente un modelo de programación entera-mixta.

1.9. Estructura del proyecto

Este proyecto se encuentra sustentado en la siguiente estructura:

Capítulo 1.- En este capítulo se delimitará el alcance y efecto de la investigación y su posible efecto en la organización.

Capítulo 2.- Aquí se planteará el marco teórico y referencia tomada de textos y libros que abordan el tema y a su vez se lo analizará para mostrar un vistazo integral de la situación científica y el contexto de lo investigado.

Capítulo 3.- en este capítulo se implementará el modelo matemático y se ejecutará con la finalidad de evaluar luego sus resultados y comprobar el cumplimiento de los objetivos planteados.

Capítulo 4.- Análisis de los resultados y comparación con el modelo anterior del proceso actual y el modelo propuesto.

CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO

2.1 Definiciones

2.1.1. Administración científica

Desarrollado por Frederick Taylor, afirma que el principal objetivo de la administración es asegurar la mayor rentabilidad tanto para el empleado como para el empleador. El empleador considera el máximo de prosperidad como el desarrollo de todos los aspectos de la empresa para alcanzar un nivel de crecimiento sostenido; en cambio para el empleado el máximo de prosperidad representa un desarrollo personal para trabajar eficazmente, con calidad y eficiencia. (Rionda Ramirez, 2006)

El objetivo es encontrar una cooperación sólida y en conjunto entre el empleador y sus empleados, para que los empleados puedan alcanzar salarios elevados y el empleador una producción con bajos costos.

Taylor menciona cuatro principios fundamentales:

- 1.- Desarrolla, para cada elemento del trabajo del obrero, una ciencia que reemplaza los antiguos métodos empíricos.
- 2.- Selecciona científicamente y luego instruye, enseña y forma al obrero, de acuerdo con sus propias posibilidades.
- 3.- Cooperación cordialmente con los obreros para que todo el trabajo sea hecho de acuerdo con los principios científicos que se aplican.
- 4.- Distribuye el trabajo y la responsabilidad entre la administración y los obreros. La administración asume todo trabajo que exceda la capacidad de los obreros. (Rionda Ramirez, 2006)

2.1.2. Cadena de suministro

Una cadena de suministro está formada por todas aquellas partes involucradas de manera directa o indirecta en satisfacer la solicitud de un cliente. La cadena de suministro incluye no solamente al fabricante y al proveedor, sino también a los transportistas, almaceneros, fuerza de ventas y clientes. Es dinámica e implica un flujo importante de información, productos y fondos entre sus diferentes etapas. Así, un cliente que realiza una compra en el Supermercado proporciona información de precio, características y disponibilidad del producto, reabastecimiento a la percha y al almacén. (Flores, 2004)

El objetivo de una cadena de suministro debe ser maximizar la ganancia generada. Esta ganancia es la diferencia entre lo que vale el producto final para el cliente y los costos en que la cadena incurre para cumplir su requerimiento. La administración exitosa de la cadena de suministro requiere tomar muchas decisiones relacionadas con el flujo de información, productos y fondos. Estas decisiones deben tomarse para incrementar la rentabilidad de la Cadena y se clasifican en tres categorías:

1.- Estrategia o diseño de la cadena de suministro. Se decide cómo será la estructura y configuración en los siguientes años, cómo serán distribuidos los recursos y qué procesos se llevarán a cabo en cada etapa. Las decisiones estratégicas tomadas por las compañías incluyen la ubicación y las capacidades de producción e instalaciones de almacenaje, los productos que se fabricarán o almacenarán en varias ubicaciones, los medios de transporte disponibles a lo largo de las diferentes rutas de envío y el tipo de sistema de información que se utilizará. (Flores, 2004)

2.- Planeación de la cadena de suministro. Se considera un período de un trimestre a un año con una configuración fija. Esta configuración establece las restricciones dentro de las cuales debe hacerse la planeación. La meta es maximizar la rentabilidad de la cadena de suministro que se puede generar durante el horizonte de planeación, dadas las restricciones que se establecieron durante la fase estratégica o de diseño. (Flores, 2004)

Las compañías comienzan la fase de planeación con un pronóstico de demanda en diferentes mercados dentro de un período de tiempo definido. La planeación incluye tomar decisiones respecto a cuáles mercados serán abastecidos y desde qué ubicaciones, la subcontratación de fabricación, las políticas de inventario que se seguirán y la oportunidad y magnitud de las promociones de marketing y precio

3.- Operación de la cadena de suministro. El horizonte de tiempo es semanal o diario y las decisiones se toman respecto a los pedidos de cada cliente. La meta de las operaciones de la cadena de suministro es manejar los pedidos entrantes de los clientes de la mejor manera posible. (Flores, 2004)

Las compañías distribuyen el inventario o la producción entre cada uno de los pedidos, establecen una fecha en que debe completarse el pedido, generan listas de surtido en el almacén, asignan un pedido a un modo particular de transporte y envío, establecen los itinerarios de entrega de los camiones y colocan órdenes de reabastecimiento.

2.1.3. Planeación de ventas y operaciones

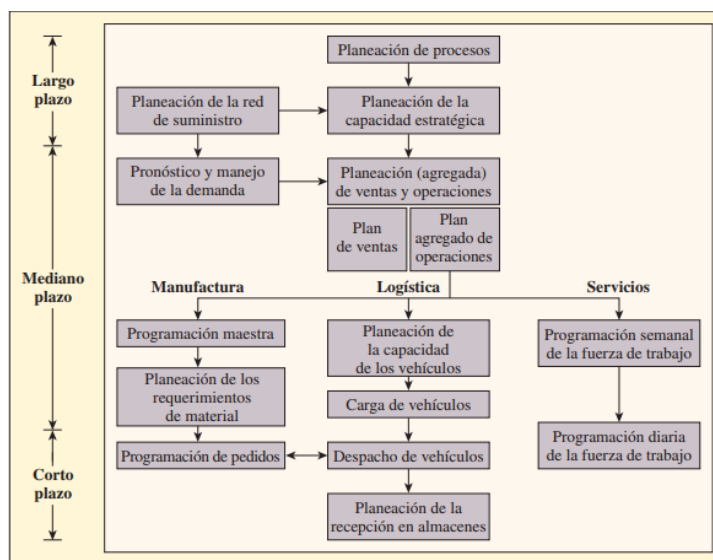
La planeación de ventas y operaciones (Sales and Operations Planning, *S&OP*) es un proceso que ayuda a ofrecer un mejor servicio al cliente, manejar un inventario óptimo, reducir los tiempos de entrega a los clientes, estabilizar los índices de producción y facilitar a la gerencia el manejo del negocio. El proceso se basa en el trabajo de equipo entre los departamentos de ventas, operaciones, finanzas y marketing. Este proceso está diseñado para mantener el equilibrio entre la oferta y la demanda de una compañía a través del tiempo. Esto será esencial para el buen manejo de un negocio. (Peña Andrés, 2017)

El proceso de planeación de ventas y operaciones consiste en una serie de reuniones en diferentes niveles jerárquicos que culminan en una junta a alto nivel donde se toman decisiones a mediano plazo. El propósito es llegar a un acuerdo entre los distintos departamentos sobre el mejor curso de acción para lograr un equilibrio óptimo entre la oferta y la demanda, con el fin de alinear el plan de operaciones con el plan de negocios. Este

equilibrio debe ocurrir tanto a nivel de los principales grupos de productos como a nivel de cada producto.

Es necesario que se garantice que se tiene una capacidad total suficiente y debido a que la demanda es dinámica es importante evaluar las necesidades proyectadas a mediano plazo en un período de 3 a 18 meses. Si se tiene la capacidad suficiente se puede programar, trabajando dentro de las limitaciones de la capacidad conjunta, el lanzamiento diario y semanal de pedidos de productos individuales para cubrir la demanda a corto plazo. (Ver Figura 4) (Peña Andrés, 2017)

Figura 4 Esquema de las principales operaciones y actividades de planeación



Fuente: (Peña Andrés, 2017)

2.1.4. Planeación de demanda

La Planeación de Demanda (Demand Planning) es un conjunto de acciones y técnicas de cálculo necesarias para aprovisionar producto a uno o varios centros de almacenamiento y cuyo objetivo principal es mantener unos niveles de inventarios adecuados para atender la

demanda media solicitada por el conjunto de clientes en un periodo de tiempo y alcanzar altos niveles de servicio. (Heizer & Render, 2010)

Un pilar fundamental para esta planeación de demanda es el pronóstico de ventas (Sales Forecast), que no es más que la previsión de lo que vamos a vender en un tiempo futuro donde el histórico de ventas normalmente se extrapola mediante el uso de herramientas o softwares estadísticos.

Estos softwares utilizan algoritmos que incluyen factores estacionales, medición de tendencias, evaluación de ciclos y/o técnicas causales que mejoran de manera importante la precisión de estas cifras. La planeación de demanda es un proceso estructurado y periódico que también considera las promociones de ventas, lanzamientos de nuevos productos, diversas estrategias comerciales como descuentos, promociones, estrategias push hacia los puntos de venta, etc. (Heizer & Render, 2010)

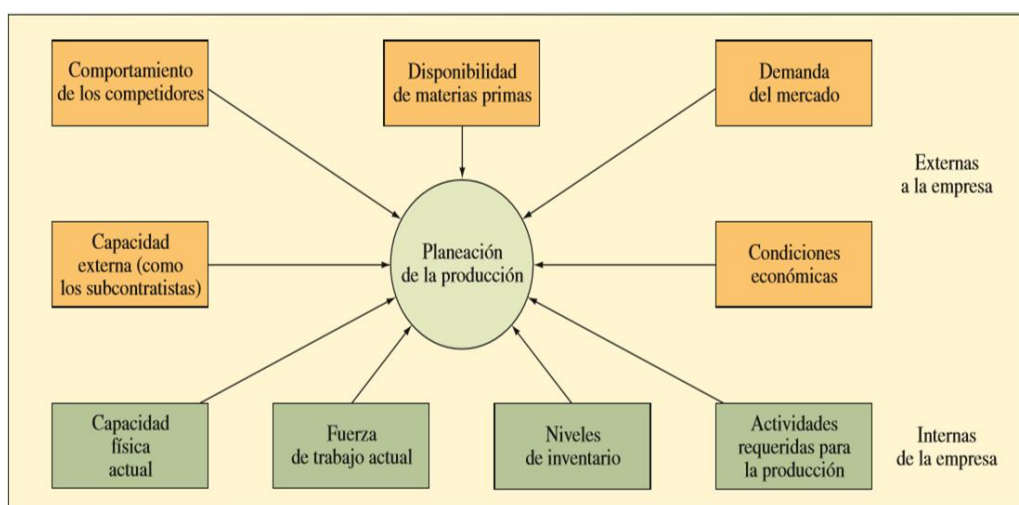
2.1.5. Planeación de producción

La Planeación de Producción (Production Planning) comprende la fijación de los objetivos a alcanzar y las actividades a realizar en función de la producción; es decir, el establecimiento de las actividades a desarrollar para obtener un volumen de producción que permita atender a la demanda estimada, cumpliendo los objetivos o prioridades competitivas como costo, calidad, flexibilidad, tiempo de entrega y servicio al cliente. Su actividad constituye un sistema jerárquico o pirámide de planes que va de un menor a mayor grado de detalle. En la parte superior se sitúan los planes estratégicos mientras que en la base se encuentran los planes operativos o tácticos. (Muñoz Negrón, 2009)

Con la planeación de producción se busca coordinar las necesidades de otros departamentos (Calidad, Compras, Almacén de Insumos, etc...), reducir los costos de producción, estabilizar el nivel de producción y mantener inventarios equilibrados. Esta

planeación elevará la productividad con una mejor utilización del tiempo de los obreros y las máquinas, ya que permite calcular los recursos necesarios, así como los tiempos requeridos y permite determinar las capacidades instaladas. La Figura 5 muestra los factores externos e internos de la planeación de producción para una empresa

Figura 5 Plan de Producción



Fuente: (Muñoz Negrón, 2009)

2.1.6. Optimización y productividad

El Objetivo principal de un sistema de calidad en las industrias manufactureras es la mejora continua de los procesos, de manera que se logre eficiencia y eficacia en las tareas asignadas ya sea a un hombre o una máquina. (Figuera Vinué, 2000)

La reducción de costes se encuentra muy vinculada a las tasas de productividad, en este punto la optimización cumple un rol muy importante en todos los procesos, sobre todo la reducción de plazo de circulación, es decir la suma de los tiempos en que la materia prima está en stock, plazo de fabricación, almacenaje y distribución del producto.

Los métodos para lograr la optimización de las características de productos y procesos reduciendo la variabilidad de éstos son muy importantes para la obtención de incremento en la productividad. (Figuera Vinué, 2000)

Una alta producción requiere una mayor disponibilidad de maquinaria y mano de obra, lo cual se puede conseguir uniformando más las características de los procesos. Así también se puede reducir los costos energéticos.

La estrategia general para la optimización consiste en hacer el producto más robusto a las variaciones que por lo general se dan en los materiales a usar y los procesos de manufactura. (Figuera Vinué, 2000)

En efecto el éxito de una organización depende en gran parte de la consolidación de sus recursos y los procesos que estos manejan para producir lo que venden al público, el trabajo en equipo es necesario para integrar los ingenieros de desarrollo, de producción, compras, marketing y sobre todo los de dirección. Todos estos conceptos son la base de la pirámide en la que se puede lograr la calidad, optimización y eficiencia de los procesos de manufacturo, y por qué no decirlo de todos los procesos de una industria.

2.1.7. Línea de producción

Las líneas de producción son una importante clase en los sistemas de manufactura en los que se requiere hacer gran cantidad de productos idénticos o similares. Son un pilar básico cuando un producto requiere, para su venta, muchos pasos por separado, donde los procesos que integran la línea son bastante complejos. (Romero Carrillo, 2018)

En una línea de producción el total del trabajo se divide en varias tareas pequeñas que son asignadas tanto a personas como a maquinas, de manera que se puedan realizar estas actividades con eficiencia.

La eficiencia en una línea de producción se ve afectada por los siguientes ítems:

- ✓ La cantidad de estaciones que posee.
- ✓ Nivel de dotación de personal
- ✓ Cantidad de trabajadores
- ✓ Número de estaciones automatizadas. (Romero Carrillo, 2018)

Existen líneas de producciones automatizadas y manuales.

Las líneas de producción automatizadas emplean un sistema de transferencia mecanizado para mover partes entre las estaciones de trabajo. Se dividen en dos categorías básicas:

- ✓ Líneas de operaciones de procesamiento, y
- ✓ Líneas que realizan operaciones de ensamblaje.
- ✓

Figura 6 Línea de producción automatizada



Fuente: (Forrester, 1961)

Las líneas de ensamblaje manual (*Ver Figura 7*) consisten en múltiples estaciones que están ordenadas de manera secuencial en la que trabajadores humanos ejecutan operaciones de ensamblaje. (Romero Carrillo, 2018)

Figura 7 Línea de producción manual



Fuente: (Romero Carrillo, 2018)

Al hablar de algoritmo de Scheduling se debe aclarar que existen varios, estos algoritmos consisten esencialmente en realizar una simulación del desarrollo de un proyecto a largo tiempo; para esto se parte de los resultados obtenidos resolviendo el problema potencial, las fechas tanto mínimas como máximas de cada una de las actividades.

De la manera explicada, se llegan a conocer las actividades críticas y podemos clasificar y se pueden obtener el grado de criticidad en función del margen del que disponen. Este grado de criticidad será empleado como prioridad de los recursos necesarios para que una actividad se ejecute. En esta simulación, a lo largo del tiempo, se presentarán conflictos en la asignación de recursos ya que no hay siempre recursos disponibles. Si faltan recursos para una actividad crítica el problema es más grave. (Romero Carrillo, 2018)

Se puede describir el procedimiento bajo los siguientes pasos:

- ✓ Determinar las fechas mínimas y máximas iniciales
- ✓ Ordenación inicial: lista de actividades.
- ✓ Simulación
- ✓ Inicialización
- ✓ Construcción de la lista de espera
- ✓ Interrupción de actividades no críticas

- ✓ Cambio de hora de reloj
- ✓ Actualización
- ✓ Retraso del proyecto

El empleo de este algoritmo tiene la ventaja, respecto a otros métodos, de ofrecer datos bastantes certeros del comportamiento de un proceso respecto a la maquinaria, estaciones y recursos de los que se disponga, logrando definir la mejor manera de optimizar tanto en costes como en tiempo. (Romero Carrillo, 2018)

A continuación, se presentan algunos algoritmos de Scheduling. Es importante aclarar que no existe un algoritmo ideal, sino que todos tienen sus ventajas y desventajas. Dependerá de los procesos a los que se oriente el sistema operativo la elección de un algoritmo sobre los demás.

First-Come, First-Served: En este algoritmo, también conocido como FIFO (First In First Out), los procesos se ordenan en una fila donde el primero que entra es el primero en ser atendido. La ventaja de este algoritmo es su simplicidad, aunque su desempeño es pobre. Además, el tiempo de espera promedio en este algoritmo tiende a ser largo. Este se calcula de la forma: (Romero Carrillo, 2018)

$$t = ((t_{p1} + t_{pa} - a_{t1}) + (t_{p2} + t_{pa} - a_{t2}) + (t_{pn} + t_{pa} - a_{tn})) / n$$

Donde t es el tiempo promedio de espera, t_p es el tiempo de servicio un proceso, t_pa es el tiempo acumulado de los procesos anteriores, t_a es el momento en el que entra el proceso y n el número de procesos en la fila.

Shortest Job First: Como su nombre lo dice, en este algoritmo se atiende al trabajo más corto primero. Es óptimo para minimizar los tiempos de espera; sin embargo, imposible de implementar al cien por ciento, dado que no se sabe exactamente cuánto tiempo se tardará un proceso en ejecutarse. Lo que se pretende es intuir la duración de un proceso en base a resultados anteriores. El cálculo del estimado se hace de la siguiente manera:

$$t(n+1) = w * t(n) + (1 - w) * T(n)$$

Donde $t(n+1)$ es el tiempo del siguiente proceso, $t(n)$ es el tiempo del proceso actual, $T(n)$ es un promedio de los tiempos de los procesos anteriores, n es el número de procesos y w es un factor de peso enfatizando procesos actuales o previos. (Romero Carrillo, 2018)

Algoritmos Apropiativos: En este tipo de algoritmos, un proceso de mayor prioridad puede apropiarse del procesador, bloqueando al proceso en ejecución. Se puede aplicar al algoritmo de Shortest Job First o a Algoritmos de Prioridad. Permite que el procesador no se quede ejecutando tareas de baja prioridad y les da mayor prioridad a los procesos cortos, por lo que el tiempo de respuesta es menor.

Algoritmos Basados en Prioridades: Este tipo de algoritmos le asigna una prioridad a cada proceso y los ordenan de mayor prioridad a menor. En el caso de los procesos con la misma prioridad, se ordenan de acuerdo a First-Come, First-Served.

La prioridad la determina el usuario o algún mecanismo. El sistema puede determinar la prioridad en base a requerimientos de memoria, límites de tiempo o bien la cantidad de tiempo que un proceso ha estado en espera. Éste último criterio se usa para evitar que un proceso de baja prioridad se quede indefinidamente en espera, si se encuentra entre procesos de alta prioridad. (Romero Carrillo, 2018)

Roudn Robin: La base de este algoritmo es dividir el tiempo del procesador en partes iguales y ordenar los procesos de acuerdo con First-Come, First-Served. Si el proceso termina su ejecución o agota su parte de tiempo, se asigna un nuevo proceso al CPU. La duración de las partes de tiempo debe pensarse bien, ya que, si es demasiado corto, se desperdiciará el tiempo del procesado en hacer los cambios de proceso en vez de aprovecharlo en la ejecución de éstos. Por otro lado, si la parte de tiempo es muy grande, el comportamiento será parecido al de First-Come, First-Served. La mejor decisión es ajustar

el tiempo de modo que la mayoría de los procesos no agoten su parte de tiempo. (Romero Carrillo, 2018)

CAPÍTULO III

MODELO MATEMÁTICO

3.1. Diseño e implementación del modelo

3.1.1. Diseño y aplicación del modelo para la calendarización de actividades y secuenciación de la producción

Una vez que se ha entendido la problemática, se procede al diseño del modelo matemático a fin de obtener como resultado el Scheduling de la producción. Se utilizará la programación matemática como herramienta en la que se considerarán las variables necesarias de manera que se pueda dar cumplimiento.

3.1.2. Funcionamiento del modelo

El Modelo tiene como funcionalidad establecer la producción semanal del lote, día, sabor y formato de producto a fabricar, considerando la reducción del tiempo improductivo de la maquinaria. Se considera el personal como recurso infinito, es decir no será una limitante en el proceso.

Se tendrá como resultado satisfactorio la secuenciación de cada producto a fabricar, ya que el modelo balancea la producción de acuerdo con las necesidades de la política de producción.

3.1.3. Datos del modelo

Se conoce que el proceso considera información relevante para el desarrollo del modelo matemático:

Tiempo de espera en cambiar de un sabor a otro

DE	A	Tiempo
Gaseosa	Gaseosa	40 min
Gaseosa	Jugo	50 min
Jugo	Jugo	40 min

Tiempo de espera en cambiar de un formato a otro:

De	A	Tiempo
Formato 500ml	Formato 1.000ml	150 min
Formato 1.000ml	Formato 500ml	150 min

Tiempo establecido para mantenimiento semanal

Mantenimiento Semanal	720 min
-----------------------	---------

Tiempo establecido para arranque de línea

Arranque de Línea	270 min
-------------------	---------

Tiempo establecido para cierre de producción

Cierre de Producción	60 min
----------------------	--------

Tiempo establecido de cobertura de producción

Cobertura	2 días
-----------	--------

3.2. Planteamiento del problema

Se procede a establecer cuáles serán los artefactos que intervienen en el modelo, para ello se toma en consideración los patrones de producción, los turnos por día, tipo de formato del producto, sabor, tiempos, demanda y el inventario inicial.

3.2.1. Índices

3.2.3.1. Patrones de Producción

La máquina realiza lotes de producción por tipo de formato (presentación) en la que en el modelo se establecen dos tipos de formato.

Al llenar un tanque de fórmula para fabricar en el formato 1, se conoce que cada tanque en un tiempo de 3 horas, fabrica 4500 cajas del producto, por ende, tomando en consideración una jornada de 12 horas, se puede visualizar en la tabla los patrones de fabricación que el modelo podrá seleccionar.

Tabla 4. Volumen de producción por tiempo en Formato 1

Cajas Físicas	Número de Horas
4.500	3
9.000	6
13.500	9
18.000	12

Elaborado por: Autor

Para el formato 2, se establece el mismo marco de horario, con una diferencia en la cantidad de cajas de fabricación y en el periodo de tiempo, como se observa en la Tabla 5, en hora y media, un tanque produce 3.080 cajas del producto.

Tabla 5. Volumen de producción por tiempo en Formato 2

Cajas Físicas	Número de Horas
3.080	1,5
6.160	3,0
9.240	4,5
12.320	6,0
15.400	7,5
18.480	9,0
21.560	10,5
24.640	12,0

Elaborado por: Autor

Finalmente, para representar el patrón en un modelo, se han considerado 88 patrones y serán representados por i .

Dónde: $i = \text{patron001, patrón002, patrón003, \dots, patron088}$

3.2.3.2. Formato

Existen dos tipos de formato, los mismos que serán representados por f .

Dónde: $f = \text{formato1, formato2}$

3.2.1.3. Producto

Existen ocho tipos de productos (sabores), los mismos que serán representados por pr .

Dónde: $pr = \text{gaseosa, gaseosaB, gaseosaC, gaseosaD, gaseosaE, gaseosaF, gaseosaG, gaseosaJ}$

3.2.1.4. Turnos

Los turnos que administra la planta son dos, por lo tanto, el modelo tendrá la siguiente configuración para su posterior interpretación. Para cada día se tiene un turno, por ende, el lunes está dividido en lunes1 que representa el primer turno del lunes y lunes2 que representa el segundo turno del mismo día.

Tabla 6. Tabla de Turnos de producción

Turnos
Lunes 1
Lunes 2
Martes 1

Martes 2
Miércoles 1
Miércoles 2
Jueves 1
Jueves 2
Viernes 1
Viernes 2
Sábado 1
Sábado 2
Domingo 1
Domingo 2

Elaborado por: Autor

Existen 14 turnos, los mismos que serán representados por d.

3.2.4. Parámetros

Se han considerados los siguientes parámetros, los mismos quedarán representados mediante tablas:

$P(f,pr)$: La tabla de patrones estará representada por **P** y está conformada por el patrón, formato, producto, y turno.

$HM(i.f,pr,d)$: Contempla la tabla de patrones de fabricación por batch, por patrón, formato, producto y por turno por día.

$Cob(f,pr)$: La tabla de la Cobertura Inicial será representada por **Cob** y contendrá la cantidad de días de cobertura por tipo de formato **f** y producto **pr**.

$DM(f,pr)$: La demanda inicial será representada por **DM** y contendrá la cantidad de stock requerido por tipo de formato **f** y producto **pr** para la semana en proceso.

$DM2(f,pr)$: La demanda final será representada por **DM2** y contendrá la cantidad de stock requerido por tipo de formato **f** y producto **pr** para la siguiente semana.

INV (f,pr): El inventario será representado por INV y contendrá la cantidad de stock actual por tipo de formato **f** y producto **pr**.

C (i,f,pr,d): Las combinaciones serán representadas por C, y tiene las diferentes combinaciones por patrón **i**, formato **f**, producto **pr** y turno **d** en que podrá desarrollarse la planificación según las iteraciones.

3.2.5. Variables del modelo

Las variables a considerarse en este modelo se encuentran resumidas y explicadas en la siguiente tabla.

Tabla 7. Tabla de Variables de Decisión

Variable	Descripción
x(i,f,pr,d)	Variable binaria que relaciona el lote de fabricación por formato, sabor, y turno por día.
h(f,pr,d)	Muestra el resumen del plan de fabricación por día- turno, formato y sabor.
desg(i,f,pr,d)	Muestra el nivel de detalle de la producción.
m(f,pr)	Acumular el total de la planificación a producir por tipo de formato y sabor.
z	Función objetivo.
sf	Variable intermedia que permite conocer las veces que la variable x es 1.
sft	Variable intermedia que permite conocer las veces que se ha cambiado se sabor por tipo de formato por día-turno.
sft2	Muestra la cantidad de cambios de sabor por día.
csbr	Muestra el costo en tiempo por cambios de sabor en el día-turno.
scf1	Suma de cambios de formato por día.
ccf	Costo preliminar de tiempo por cambio de formato.

Elaborado por: Autor

3.2.6. Función objetivo

La función objetivo, consiste en reducir el costo (tiempo) por cambio de formato y sabor (producto).

Función Objetivo:

$$Z = \sum_{i=1}^n \sum_{f=1}^n \sum_{pr=1}^n \sum_{d=1}^n P_{i,f,pr,d} * X_{i,f,pr,d} + \sum_{i=1}^n \sum_{f=1}^n \sum_{pr=1}^n \sum_{d=1}^n HM_{i,f,pr,d} * X_{i,f,pr,d} + \sum_{d=1}^{14} sft2_d * 40 + \sum_{d=1}^{14} scf1_d * 150$$

3.2.7. Restricciones

Las restricciones, se encuentran resumidas y explicadas en la siguiente tabla:

Tabla 8. Tabla de Restricciones

Restricción	Descripción
demanda(f,pr)	Restricción de la demanda. $\sum_i \sum_d P_{i,f,pr,d} * x_{i,f,pr,d} \geq DM_{f,pr} + DM2_{f,pr} - IN_{f,pr}; \forall f, \forall pr$
cap_diaria(d)	Restricción de la capacidad diaria. $\sum_i \sum_f \sum_{pr} HM_{i,f,pr,d} * X_{i,f,pr,d} \geq 12; \forall d$
rest1(f,pr)	Restricción de Max número de x. $\sum_i \sum_d x_{i,f,pr,d} \leq 28; \forall f, \forall pr$
batch(d)	Restricción del número de Bach. $\sum_i \sum_f \sum_{pr} X_{i,f,pr,d} = 6; \forall d$
suma(f,pr,d)	Ecuación utilizada para mostrar el resumen del plan de fabricación por día- turno, formato y sabor. $\sum_i P_{i,f,pr,d} * X_{i,f,pr,d} = H_{f,pr,d}; \forall f, \forall pr, \forall d$
sf1(f,pr,d)	Asigna acumulado de cambios de sabor por día y formato. $\sum_i X_{i,f,pr,d} = SF_{f,pr,d}; \forall f, \forall pr, \forall d$

suma2(f,pr)	Asigna el total de la planificación a producir por tipo de formato y sabor. $\sum_d \sum_h H_{f,pr,d} = m_{f,pr,d}; \forall f, \forall pr$
priolunes	Prioridad de fabricación del lunes en el primer turno $x_{patron002,formato1,gaseosaA,lunes1}=1$
sfs(f,d)	Asigna cambios de formato por día. $\sum_{pr} s_{f,pr,d} = sft_{f,d}; \forall f, \forall d$
sfs2(d)	Asigna cantidad de cambios de sabor por día. $\sum_f sft_{f,d} - 1 = sft2_d; \forall d$
cfs1	Asigna tiempo semanal de cambio de sabor. $\sum_d sft2_d * 40 = csbr$
sff1	Asigna la cantidad de cambios de formatos por día. $sft_{formato2',d} - sft_{formato2',d-1} = sff1_d; \forall d$
cff2	Asigna tiempo total preliminar de cambios de formato. $\sum_d scf1_d * 150 = ccf$

Elaborado por: Autor

3.3. Planteamiento del modelo exacto

Una vez que se ha estructurado el modelo, se procede a su ejecución en el solver, de manera que permita evaluar sus resultados. En primera instancia, se procede a ejecutar la programación en código de GAMS, y será ejecutado en un solver, y una vez obtenido el resultado, se procederá a ejecutar en Matlab la calendarización.

3.3.1. Sets

El conjunto de índices corresponderá a los patrones de producción, tipo de formato, sabor y turnos por día.

Figura 8 SETS de programación

```
sets i patrones /patron001*patron088/
sets f formato /formato1, formato2/
sets pr producto /gaseosaA, gaseosaB, gaseosaC, gaseosaD, gaseosaE, gaseosaF, gaseosaG, gaseosaJ/
sets d dias /Lunes1, Lunes2, Martes1, Martes2, Miercoles1, Miercoles2, Jueves1, Jueves2, Viernes1, Viernes2, Sabado1,
```

Elaborado por: Autor

3.3.2. Parámetros

Dentro de los parámetros, se tiene los patrones de fabricación, configurados por tipo de sabor y formato, asociado a cada turno.

Por ejemplo:

El patrón 001 tiene configurado el formato 1 y sabor A, donde por cada día se podrá seleccionar el lote de fabricación según su demanda y cobertura.

Tabla 9. Cantidad de lotes de producción por turno por día según combinación

	Lunes1	Lunes2	Martes1	Martes2
Patron001.formato1.GaseosaA	4.500	4.500	4.500	4.500
Patron002.formato1.GaseosaA	9.000	9.000	9.000	9.000
Patron003.formato1.GaseosaA	13.500	13.500	13.500	13.500
Patron004.formato1.GaseosaA	18.000	18.000	18.000	18.000
Patron005.formato1.GaseosaB	4.500	4.500	4.500	4.500
Patron006.formato1.GaseosaB	9.000	9.000	9.000	9.000
Patron007.formato1.GaseosaB	13.500	13.500	13.500	13.500
Patron008.formato1.GaseosaB	18.000	18.000	18.000	18.000

Elaborado por: Autor

En Gams tendrá la siguiente estructura, se plantea una tabla cuyas filas están conformadas por el patrón, formato y sabor de la gaseosa; y las columnas están conformadas por el día-turno; los valores o datos corresponden al lote de fabricación.

Figura 9 Estructura de programación en GAMS para lotes de producción

table P(i,f,pr,d) patrones de fabricación por batch	Lunes1	Lunes2	Martes1	Martes2	Miercoles1
Patron001.formato1.GaseosaA	4500	4500	4500	4500	4500
Patron002.formato1.GaseosaA	9000	9000	9000	9000	9000
Patron003.formato1.GaseosaA	13500	13500	13500	13500	13500
Patron004.formato1.GaseosaA	18000	18000	18000	18000	18000
Patron005.formato1.GaseosaB	4500	4500	4500	4500	4500
Patron006.formato1.GaseosaB	9000	9000	9000	9000	9000
Patron007.formato1.GaseosaB	13500	13500	13500	13500	13500
Patron008.formato1.GaseosaB	18000	18000	18000	18000	18000
Patron009.formato1.GaseosaC	4500	4500	4500	4500	4500
Patron010.formato1.GaseosaC	9000	9000	9000	9000	9000
Patron011.formato1.GaseosaC	13500	13500	13500	13500	13500
Patron012.formato1.GaseosaC	18000	18000	18000	18000	18000
Patron013.formato1.GaseosaD	4500	4500	4500	4500	4500
Patron014.formato1.GaseosaD	9000	9000	9000	9000	9000
Patron015.formato1.GaseosaD	13500	13500	13500	13500	13500
Patron016.formato1.GaseosaD	18000	18000	18000	18000	18000
Patron017.formato1.GaseosaE	4500	4500	4500	4500	4500
Patron018.formato1.GaseosaE	9000	9000	9000	9000	9000

Elaborado por: Autor

Las horas de fabricación por tipo de formato, también son configuradas en la herramienta. Por ejemplo, el patrón 001 indica que para el formato 1 y sabor A tendrá tres horas de fabricación, para este turno.

Tabla 10. Tiempo de producción por lote según combinación

	Lunes1	Lunes2	Martes1
Patron001.formato1.GaseosaA	3	3	3
Patron002.formato1.GaseosaA	6	6	6
Patron003.formato1.GaseosaA	9	9	9
Patron004.formato1.GaseosaA	12	12	12
Patron005.formato1.GaseosaB	3	3	3
Patron006.formato1.GaseosaB	6	6	6
Patron007.formato1.GaseosaB	9	9	9
Patron008.formato1.GaseosaB	12	12	12
Patron009.formato1.GaseosaC	3	3	3
Patron010.formato1.GaseosaC	6	6	6
Patron011.formato1.GaseosaC	9	9	9
Patron012.formato1.GaseosaC	12	12	12
Patron013.formato1.GaseosaD	3	3	3

Elaborado por: Autor

En gams tendrá la siguiente estructura, se plantea una tabla cuyas filas están conformadas por el patrón, formato y sabor de la gaseosa; y las columnas están conformadas por el día-turno; los datos o valores corresponden a las horas que toma ese lote producir dicho patrón.

Figura 10 Estructura de programación en GAMS para tiempos de producción

```

table HM(i,f,pr,d) patrones de hora por tipo de formato
      Lunes1  Lunes2  Martes1  Martes2  Miercoles1
Patron001.formato1.GaseosaA      3      3      3      3      3
Patron002.formato1.GaseosaA      6      6      6      6      6
Patron003.formato1.GaseosaA      9      9      9      9      9
Patron004.formato1.GaseosaA     12     12     12     12     12
Patron005.formato1.GaseosaB      3      3      3      3      3
Patron006.formato1.GaseosaB      6      6      6      6      6
Patron007.formato1.GaseosaB      9      9      9      9      9
Patron008.formato1.GaseosaB     12     12     12     12     12
Patron009.formato1.GaseosaC      3      3      3      3      3
Patron010.formato1.GaseosaC      6      6      6      6      6
Patron011.formato1.GaseosaC      9      9      9      9      9
Patron012.formato1.GaseosaC     12     12     12     12     12
Patron013.formato1.GaseosaD      3      3      3      3      3
Patron014.formato1.GaseosaD      6      6      6      6      6
Patron015.formato1.GaseosaD      9      9      9      9      9
Patron016.formato1.GaseosaD     12     12     12     12     12

```

Elaborado por: Autor

De igual manera se configura el inventario inicial, y la demanda para la semana actual y la semana posterior.

Figura 11 Estructura de programación en GAMS para demanda de ventas

```

parameter DM(f,pr) demanda por tipo de formato tipo de producto y sabor semana 1
/
formato1.gaseosaA      17894
formato1.gaseosaB      6189
formato1.gaseosaC      4800
formato1.gaseosaD      4217
formato1.gaseosaE      3233
formato1.gaseosaF      1628
formato1.gaseosaG      5089
formato1.gaseosaJ      2589
formato2.gaseosaA      77029
formato2.gaseosaB      14113
formato2.gaseosaC      8536
formato2.gaseosaD      12378
formato2.gaseosaE      5898
formato2.gaseosaF      4914
formato2.gaseosaG      11138
/

parameter DM2(f,pr) demanda por tipo de formato tipo de producto y sabor semana 2
/
formato1.gaseosaA      17722
formato1.gaseosaB      6000
formato1.gaseosaC      4639
formato1.gaseosaD      4078
formato1.gaseosaE      3161
formato1.gaseosaF      1617
formato1.gaseosaG      4978
formato1.gaseosaJ      2589

```

Elaborado por: Autor

La configuración de las variables está conformada de la siguiente manera:

Figura 12 Configuración de variables en GAMS

```

VARIABLES
x(i,f,pr,d)      variable binaria
h(f,pr,d)        acumulador
desg(i,f,pr,d)   desglose prod
m(f,pr)          acumular2
z                funcion objetivo
sformato1(d)     acumula cambios de formato
sf              acumula cambios de sabor por dia y formato
sft             acumula total de cambios de sabor por formato
sft2            acumula cambios de sabores en el dia
csbr            costo total en tiempo por cambio de formato
scf1            suma de cambios de formato por dia
ccf             costo en tiempo por cambio de formato
positive variable h,m,sformato1,csbr,ccf,desg
binary variable x;

```

Elaborado por: Autor

Como parte de la programación en Gams se requiere la declaración de las ecuaciones, entre ellas se encuentran también las diferentes ecuaciones de resultado, que no son necesariamente una restricción, sino que se las considera como variables de asignación de resultados.

Figura 13 Declaración de ecuaciones en GAMS

EQUATIONS		
objetivo	Funcion objetivo.	
demanda(f,pr)	Restriccion de la demanda.	
cap_diaria(d)	Restricción de la capacidad diaria.	
rest1(f,pr)	Restricción de Max número de x.	
batch(d)	Restricción del número de batch.	
suma(f,pr,d)	Ecuación utilizada para mostrar el resumen del plan de fabricación por día- turno, formato y sabor.	
desglose(i,f,pr,d)	Asigna el nivel de detalle de la producción.	
suma2(f,pr)	Asigna el total de la planificación a producir por tipo de formato y sabor.	
priolunes	Prioridad de fabricación del lunes.	
sfl(f,pr,d)	Asigna acumulado de cambios de sabor por día y formato.	
sfs(f,d)	Asigna cambios de formato por día.	
sfs2(d)	Asigna cantidad de cambios de sabor por día.	
cfs1	Asigna tiempo semanal de cambio de sabor.	
sff1	Asigna la cantidad de cambios de formatos por día.	
cff2	Asigna tiempo total preliminar de cambios de formato.	

Elaborado por: Autor

Las restricciones tienen la siguiente estructura:

Figura 14 Estructura de restricciones en GAMS

objetivo..	z =e= sum((i,f,pr,d)\$p(i,f,pr,d),(x(i,f,pr,d)))+ sum(d,(sft2(d)*40))+sum(d,(scf1(d)*150));	
demanda(f,pr)..	sum((i,d)\$c(i,f,pr,d),P(i,f,pr,d)*x(i,f,pr,d)) =g= (DM(f,pr)+DM2(f,pr)-IN(f,pr));	
rest1(f,pr)..	sum((i,d)\$c(i,f,pr,d),x(i,f,pr,d)) =l= 28;	
cap_diaria(d)..	sum((i,f,pr)\$c(i,f,pr,d),HM(i,f,pr,d)*x(i,f,pr,d))=l=12;	
suma(f,pr,d)..	sum((i)\$c(i,f,pr,d),P(i,f,pr,d)*x(i,f,pr,d)) =e= h(f,pr,d);	
desglose(i,f,pr,d)..	P(i,f,pr,d)*x(i,f,pr,d) =e= desg(i,f,pr,d);	
batch(d)..	sum((i,f,pr)\$c(i,f,pr,d),x(i,f,pr,d)) =l= 6;	
suma2(f,pr)..	sum(d,h(f,pr,d))=e= m(f,pr);	
*suma3(d,f,pr)..	sum((i)\$p(i,f,pr,d),x(i,f,pr,d)) =l= 1;	
priolunes..	x('patron004','formato1','gaseosaA','lunes1')=e=1;	
sfl(f,pr,d)..	sum((i)\$c(i,f,pr,d),x(i,f,pr,d)) =e= sf(f,pr,d);	
sfs(f,d)..	sum(pr,sf(f,pr,d))=e= sft(f,d);	
sfs2(d)..	sum(f,sft(f,d))-1=e=sft2(d);	
cfs1..	sum(d,sft2(d)*40)=e=csbr;	
sff1(d)..	(sft('formato2',d)) - (sft('formato2',d)-1)=e=scf1(d);	
cff2..	sum(d,scf1(d)*150)=e=ccf;	

Elaborado por: Autor

Los datos de la ejecución del modelo corresponden a una minimización de la función objetivo, considerando un Modelo de Programación entero-mixta.

Figura 15 Ejecución del modelo en GAMS

```
model simulacion3 /all/  
solve simulacion3 using mip minimize z;  
display x.l, z.l, h.l, m.l, sf.l, sft.l, sft2.l, csbr.l, scf1.l, ccf.l, desg.l;  
execute_unload 'resu2.gdx', x, h, m, z
```

Elaborado por: Autor

3.4. Resultados obtenidos

3.4.1. Calendarización obtenida

Se procedió a ejecutar el modelo en el solver, quedando como resultado la siguiente información correspondiente al orden de producción por turno.

Por la cantidad de restricciones se procede a ejecutar el modelo en NEOS SOLVER, y se obtiene las principales variables resultado.

Como podemos observar la variable h.l presenta la planificación resumida de la fabricación.

Figura 16 Calendarización obtenida en GAMS

```

---- 426 VARIABLE z.L          = 2278.000 funcion objetivo
---- 426 VARIABLE h.L acumulador

                Lunes1    Lunes2    Martes1    Martes2    Miercoles1
formato1.gaseosaA 18000.000
formato1.gaseosaB          4500.000
formato1.gaseosaC          9000.000
formato2.gaseosaC          12320.000
formato2.gaseosaD          15400.000
formato2.gaseosaE          18480.000
formato2.gaseosaF          6160.000
+ Miercoles2    Jueves1    Jueves2    Viernes1    Viernes2
formato1.gaseosaD          4500.000
formato2.gaseosaA 24640.000          24640.000 24640.000 15400.000
+ Sabado1      Sabado2    Domingo1    Domingo2
formato1.gaseosaE 13500.000
formato1.gaseosaG  4500.000
formato2.gaseosaA          24640.000
formato2.gaseosaB          24640.000
formato2.gaseosaG          24640.000

---- 426 VARIABLE m.L acumular2
                gaseosaA    gaseosaB    gaseosaC    gaseosaD    gaseosaE
formato1 27000.000  4500.000  9000.000  4500.000 13500.000
formato2 113960.000 24640.000 12320.000 15400.000 18480.000
+ gaseosaF    gaseosaG
formato1          4500.000
formato2 6160.000 24640.000

```

Elaborado por: Autor

Se obtiene que se cumple la demanda y cobertura, optimizando el tiempo muerto de espera por cambio de sabor, sin embargo, se requiere tener el reordenamiento de la producción a fin de tener la reducción de tiempo por cambio de formato.

A continuación, se observa el resultado global de la producción semanal por tipo de formato y sabor.

Figura 17 Resultados en GAMS

```
---- 426 VARIABLE m.L acumular2
      gaseosaA  gaseosaB  gaseosaC  gaseosaD  gaseosaE
formato1 27000.000  4500.000  9000.000  4500.000 13500.000
formato2 113960.000 24640.000 12320.000 15400.000 18480.000
      +  gaseosaF  gaseosaG
formato1                4500.000
formato2 6160.000 24640.000
```

Elaborado por: Autor

Hasta ahora en este capítulo se muestra el resultado obtenido del modelo, sin embargo, un mayor análisis se desarrolla en el siguiente capítulo.

Una vez que se obtiene el primer modelo, se requiere un algoritmo que permita su representar la calendarización, presentando el total de horas que toma el cambio de formato y sabor. Para su efecto, se toma en consideración el resultado obtenido en este modelo y se ejecuta un desarrollo en Matlab, el mismo que toma como entrada el archivo resultado del modelo matemático y devuelve como resultado la calendarización de la producción.

En primera instancia el programa solicitará que ingrese las horas obtenidas en el modelo matemático por cambio de sabor, para proceder a extraer el archivo y presentar la calendarización.

Figura 18 Ingreso horas cambio de sabor

```
New to MATLAB? See resources for Getting Started.
***** CALENDARIZACION DE LA PRODUCCIÓN *****
Para iniciar digite el tiempo en minutos por cambio de sabor... :160
fx cargando datos... presione enter
```

Elaborado por: Autor

Una vez que se presiona enter sobre el programa, se obtiene el resultado de la calendarización obtenida.

Figura 19 Resultados plan de producción

```
*** EL PLAN DE PRODUCCION ES ***
Lunes      Turno 1 -> Fabricar formato1 GaseosaA: 18000
Lunes      Turno 2 -> Fabricar formato1 GaseosaB: 4500
Lunes      Turno 2 -> Fabricar formato1 GaseosaC: 9000
Lunes      Turno 2 -> Fabricar formato2 GaseosaF: 6160
Martes     Turno 1 -> Fabricar formato2 GaseosaD: 24640
Martes     Turno 2 -> Fabricar formato2 GaseosaA: 24640
Miercoles  Turno 1 -> Fabricar formato2 GaseosaD: 6160
Miercoles  Turno 1 -> Fabricar formato2 GaseosaG: 18480
Miercoles  Turno 2 -> Fabricar formato2 GaseosaD: 24640
Jueves     Turno 1 -> Fabricar formato2 GaseosaB: 21560
Jueves     Turno 2 -> Fabricar formato2 GaseosaA: 24640
Viernes    Turno 1 -> Fabricar formato2 GaseosaA: 24640
Viernes    Turno 2 -> Fabricar formato2 GaseosaD: 4500
Viernes    Turno 2 -> Fabricar formato2 GaseosaC: 12320
Sabado     Turno 1 -> Fabricar formato1 GaseosaE: 13500
Sabado     Turno 2 -> Fabricar formato2 GaseosaA: 24640
Domingo    Turno 1 -> Fabricar formato2 GaseosaA: 24640
Domingo    Turno 2 -> Fabricar formato1 GaseosaA: 13500
Domingo    Turno 2 -> Fabricar formato1 GaseosaG: 4500
```

Elaborado por: Autor

Al final, se muestra un resumen de las horas que tomará la fabricación por el concepto de horas cambio de sabor y horas cambio de formato.

Figura 20 Resumen de Resultados

```
*** RESUMEN DE RESULTADOS ***
Tiempo por cambio de formato: 600 minutos, equivalente a 10.00 horas
Tiempo por cambio de sabor es equivalente a 2.00 horas
Total Tiempo cambio formato y sabor es 12.00 horas
fx >>
```

Elaborado por: Autor

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1. Análisis de la producción

Una vez ejecutado el modelo en el capítulo III, se procede a analizar sus resultados, como primer punto es conocer como se ha configurado la planificación de la producción en primera instancia, para ello se ha conformado la siguiente tabla resultado que corresponde a los valores de $X_{i,f,pr,d}$ multiplicado por $P_{i,f,pr,d}$.

Tabla 11. Tabla de Resultados

orden	día	turno	formato	sabor	cantidad
1	Lunes	1	formato1	GaseosaA	18.000
2	Lunes	2	formato1	GaseosaB	4.500
3	Lunes	2	formato1	GaseosaC	9.000
4	Lunes	2	formato2	GaseosaF	6.160
5	Martes	1	formato2	GaseosaD	24.640
6	Martes	2	formato2	GaseosaA	24.640
7	Miércoles	1	formato2	GaseosaD	6.160
8	Miércoles	1	formato2	GaseosaG	18.480
9	Miércoles	2	formato2	GaseosaD	24.640
10	Jueves	1	formato2	GaseosaB	21.560
11	Jueves	2	formato2	GaseosaA	24.640
12	Viernes	1	formato2	GaseosaA	24.640
13	Viernes	2	formato2	GaseosaD	4.500
14	Viernes	2	formato2	GaseosaC	12.320
15	Sábado	2	formato2	GaseosaA	24.640
16	Sábado	1	formato1	GaseosaE	13.500
17	Domingo	2	formato1	GaseosaA	13.500
18	Domingo	2	formato1	GaseosaG	4.500
19	Domingo	1	formato2	GaseosaA	24.640

Elaborado por: Autor

Se observa en la Tabla 11 que el lunes en el primer turno, se deberá fabricar 18.000 cajas del formato 1 sabor A. El mismo lunes en el segundo turno se debe fabricar 4500 cajas de la gaseosa B, 9.000 cajas de gaseosa C, y 6.160 cajas de gaseosa F, todas del formato1.

4.2. Análisis del tiempo muerto

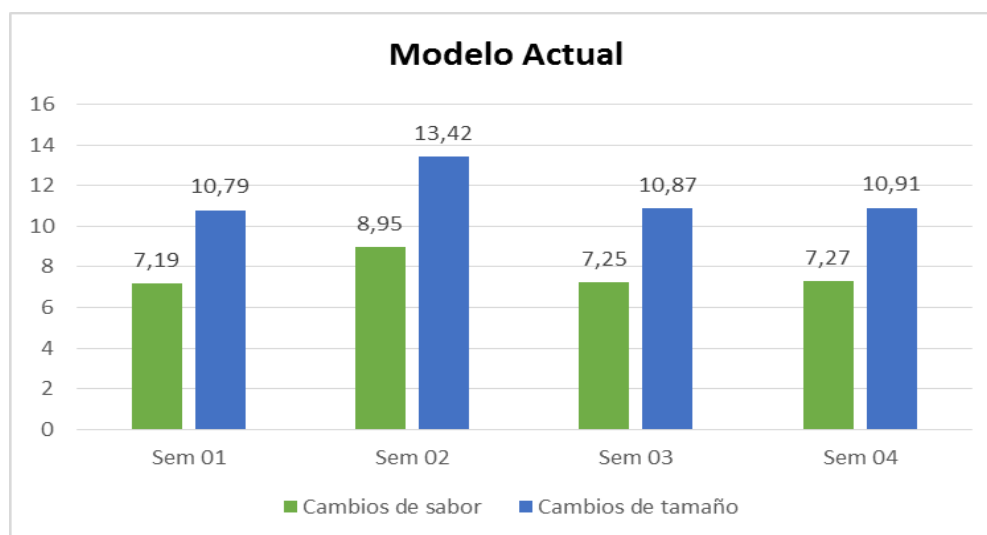
Se obtiene datos del modelo actual de producción de la empresa, tomando en consideración 4 semanas de producción. Se desglosa el tiempo de cambio de sabor y de cambio de formato.

Tabla 12. Tabla de tiempos muertos Modelo Actual

	SEM 01	SEM 02	SEM 03	SEM 04
Cambios de sabor	7,19	8,95	7,25	7,27
Cambios de tamaño	10,79	13,42	10,87	10,91
Total Tiempo Muerto	17,98	22,37	18,12	18,18

Elaborado por: Autor

Figura 21 Gráfica de Modelo Actual de Tiempos muertos



Elaborado por: Autor

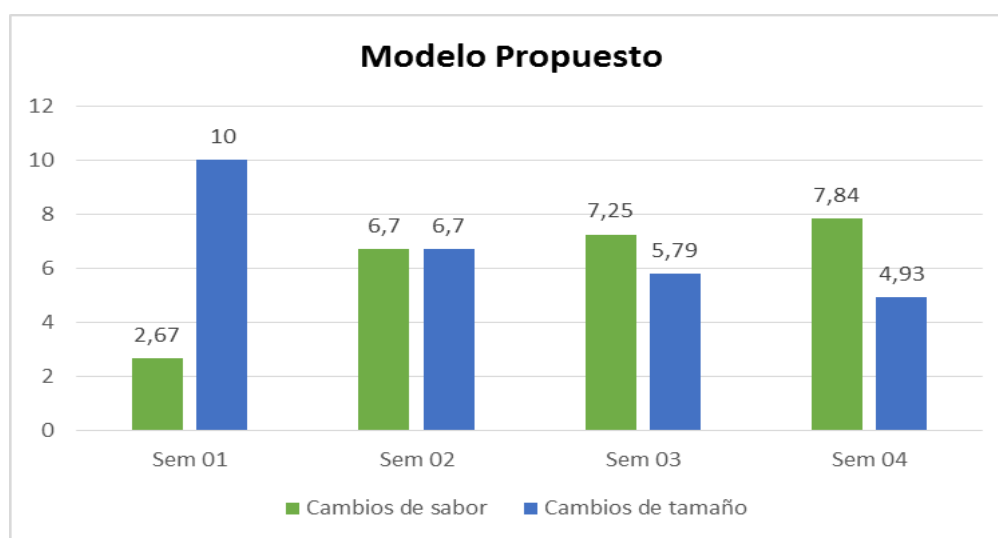
Con el modelo propuesto se toma en consideración la producción de 4 semanas y se toma el tiempo de cambio de sabor y cambio de formato.

Tabla 13. Tabla de tiempos muertos Modelo Propuesto

	Sem 01	Sem 02	Sem 03	Sem 04
Cambios de sabor	2,67	6,70	7,25	7,84
Cambios de tamaño	10,00	6,70	5,79	4,93
Total Tiempo Muerto	12,67	13,40	13,04	12,77

Elaborado por: Autor

Figura 22 Gráfica de Modelo Propuesto de tiempos muertos



Elaborado por: Autor

4.3. Comparación de resultados modelo propuesto vs modelo actual

Se realiza la comparación de los resultados entre el tiempo del modelo actual versus el modelo propuesto, como se puede observar en la siguiente tabla, que el modelo propuesto reduce la cantidad de tiempo muerto por cambio de formato y sabor en la producción.

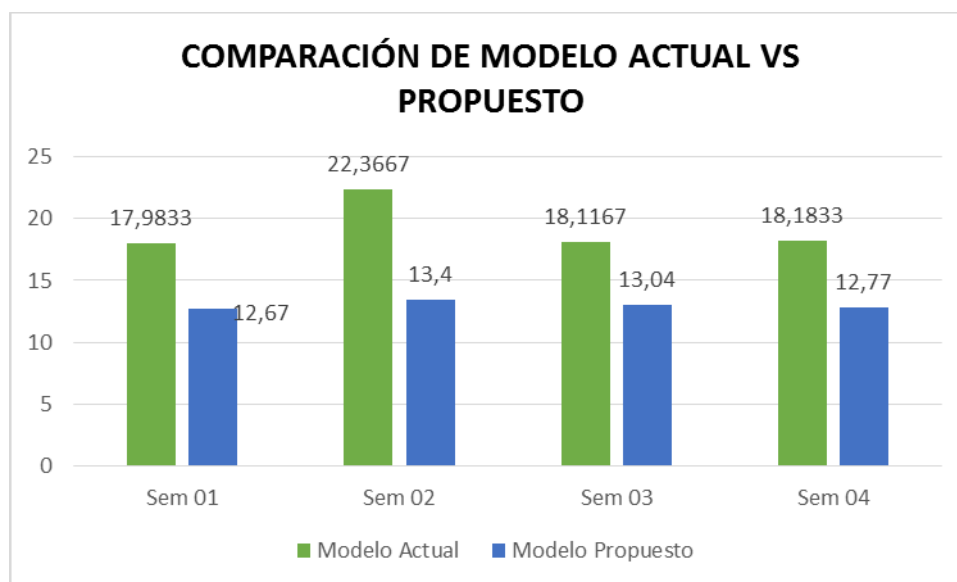
Tabla 14. Tabla Comparativa Modelo Actual vs. Propuesto

Comparación	Sem 01	Sem 02	Sem 03	Sem 04
Modelo Actual	17,98	22,37	18,12	18,18
Modelo Propuesto	12,67	13,40	13,04	12,77

Elaborado por: Autor

Gráficamente se obtiene que en la semana 1 el tiempo del modelo actual presentó un total de 17,98 horas, mientras que el modelo presentó 12,67. Es notable en la primera semana que el ordenamiento de la información, y una óptima priorización ayuda a la mejora continua de las operaciones reduciendo costo operativo y desgaste innecesario de la mano de obra, a fin de que la misma pueda realizar otras actividades que generen valor al negocio dentro de la cadena de valor seleccionada.

Figura 23 Gráfica de Comparación de Modelo Actual vs. Propuesto



Elaborado por: Autor

4.4. Comprobación de la hipótesis

Se estableció la hipótesis que utilizando un algoritmo de Scheduling, ayudaría a reducir en al menos un uno por ciento el tiempo muerto en una línea de producción. Para ello, tomaremos los resultados de los tiempos muertos de línea de Producción del proceso actual versus el modelo planteado.

En la siguiente tabla, se observa que el tiempo operativo improductivo con el modelo actual es de 81.73 horas para la semana en evaluación; mientras que, con el modelo propuesto, el tiempo improductivo para la misma semana se reduce a 56,96 horas, es decir

se obtiene una reducción del 30% que representa alrededor de 24 horas. Estas horas semanales acumuladas al mes generan una utilización adicional de la línea del 5,54%.

Tabla 15. Tabla de Evaluación de Hipótesis

Evaluación de Hipótesis		Modelo Actual	Modelo Propuesto
Producción real	Cajas	265.860	286.860
	Tiempo de arranque-apagado / Time Start-Stop	Hrs 5,08	5,08
	Tiempo cambios de sabor/ Time of setup & adj.	Hrs 30,66	24,46
	Tiempo cambios de tamaño / Time of setup & adj.	Hrs 45,99	27,42
Tiempo productivo NO disponible / NO Production Time		Hrs 81,73	56,96

Elaborado por: Autor

4.5. Calendarización resultado

Como parte del resultado del modelo, se requiere que se emita el informe de planificación mediante el Scheduling, en este resumen se muestra al usuario final como deberá generar la producción considerando el día, el turno, el formato o presentación y el tipo de sabor.

Figura 24. Calendarización de Plan de Producción

*** EL PLAN DE PRODUCCION ES ***		
Lunes	Turno 1 -> Fabricar formato1	GaseosaA: 18.000
Lunes	Turno 2 -> Fabricar formato1	GaseosaB: 4.500
Lunes	Turno 2 -> Fabricar formato1	GaseosaC: 9.000
Lunes	Turno 2 -> Fabricar formato2	GaseosaF: 6.160
Martes	Turno 1 -> Fabricar formato2	GaseosaD: 24.640
Martes	Turno 2 -> Fabricar formato2	GaseosaA: 24.640
Miércoles	Turno 1 -> Fabricar formato2	GaseosaD: 6.160
Miércoles	Turno 1 -> Fabricar formato2	GaseosaG: 18.480
Miércoles	Turno 2 -> Fabricar formato2	GaseosaD: 24.640
Jueves	Turno 1 -> Fabricar formato2	GaseosaB: 21.560
Jueves	Turno 2 -> Fabricar formato2	GaseosaA: 24.640
Viernes	Turno 1 -> Fabricar formato2	GaseosaA: 24.640
Viernes	Turno 2 -> Fabricar formato2	GaseosaD: 4.500
Viernes	Turno 2 -> Fabricar formato2	GaseosaC: 12.320
Sábado	Turno 1 -> Fabricar formato1	GaseosaE: 13.500

Sábado	Turno 2 -> Fabricar formato2	GaseosaA: 24.640
Domingo	Turno 1 -> Fabricar formato2	GaseosaA: 24.640
Domingo	Turno 2 -> Fabricar formato1	GaseosaA: 13.500
Domingo	Turno 2 -> Fabricar formato1	GaseosaG: 4.500

Elaborado por: Autor

Así mismo se informa el indicador de horas no productivas que tendrá la operación, a fin de que luego pueda ser medido y realizar el ajuste necesario dentro del proceso.

Figura 25. Resumen de Resultados

*** RESUMEN DE RESULTADOS *** Tiempo por cambio de formato: 600 minutos, equivalente a 10.00 horas Tiempo por cambio de sabor es equivalente a 2.67 horas Total Tiempo cambio formato y sabor es 12.67 horas

Elaborado por: Autor

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- Se obtuvo una reducción en el tiempo muerto de tal forma que se logró incrementar la utilización de línea de producción en un 5,56% de las horas no productivas en un mes, es decir alrededor de 24 horas por semana, lo que genera un incremento de un 8% en la producción.
- Se obtuvo los datos requeridos de la producción, respecto al cambio de formato y lavado de equipos, lo que permitió ejecutar y simular el modelo matemático y lograr mediante la programación entero-mixta la optimización de los tiempos.
- El modelo matemático considera dentro de las restricciones para la optimización el cumplimiento de la demanda, considerando que en la producción deberá tomar en cuenta la cobertura para dos semanas de demanda del producto, el mismo que está representado en cajas.
- El modelo Scheduling fue desarrollado en este modelo de forma personalizada y automatizada utilizando la herramienta Matlab, a fin de que el resultado sea un informe de la calendarización.

5.1.1. Recomendación

- Se recomienda, la implementación del prototipo en al menos tres líneas de producción, a fin de que se evidencie mayor resultado de la operativa y la alta gerencia adopte el modelo para toda la planta de fabricación.
- Se recomienda mantener el histórico de forma estandarizada de manera que la información pueda ser utilizada en diferentes estudios o futuros modelos matemáticos que puedan adaptarse logísticamente en una optimización.
- Se recomienda revisar el nivel de confianza del forecast, de manera que no se genera demanda excesiva que deba ser luego almacenada en bodega afectando posteriormente su rotación.
- Se recomienda utilizar un sistema integrado de permita mediante web services la automatización de la información resultado de la optimización y la calendarización. Existen varias herramientas en el mercado que integran servicios, pero siempre es requerido el criterio de ingeniería para su parametrización ya que de ello depende el éxito de su implementación.

ANEXOS

ANEXO 1 Resultados NEOS SOLVER

EJECUCION DEL MODELO EN NEOS SOLVER

```
NEOS Server Version 5.0
Job#      : 6269967
Password  : wbRGxlLT
User      : None
Solver    : milp:CPLEX:GAMS
Start     : 2018-08-29 23:37:34
End       : 2018-08-29 23:37:39
Host      : NEOS HTCondor Pool
```

Disclaimer:

This information is provided without any express or implied warranty. In particular, there is no warranty of any kind concerning the fitness of this information for any particular purpose.

Executed on prod-exec-1.neos-server.org

GAMS 25.1.1 r66732 Released May 19, 2018 LEX-LEG x86 64bit/Linux
08/29/18 23:37:35 Page 4

General Algebraic Modeling System
Execution

---- 426 VARIABLE x.L variable binaria

INDEX 1 = patron002

Martes1

formato1.gaseosaA 1.000

INDEX 1 = patron004

Lunes1

formato1.gaseosaA 1.000

INDEX 1 = patron005

Lunes2

formato1.gaseosaB 1.000

INDEX 1 = patron010

Martes1

formato1.gaseosaC 1.000

INDEX 1 = patron013

Jueves1

```
formato1.gaseosaD      1.000

INDEX 1 = patron019

                          Sabado1

formato1.gaseosaE      1.000

INDEX 1 = patron025

                          Sabado1

formato1.gaseosaG      1.000

INDEX 1 = patron037

                          Viernes2

formato2.gaseosaA      1.000

INDEX 1 = patron040

                          Miercoles2      Jueves2      Viernes1      Sabado2

formato2.gaseosaA      1.000      1.000      1.000      1.000

INDEX 1 = patron048

                          Domingo1

formato2.gaseosaB      1.000

INDEX 1 = patron052

                          Lunes2
```

formato2.gaseosaC 1.000

INDEX 1 = patron061

Miercoles1

formato2.gaseosaD 1.000

INDEX 1 = patron070

Martes2

formato2.gaseosaE 1.000

INDEX 1 = patron074

Lunes2

formato2.gaseosaF 1.000

INDEX 1 = patron088

Domingo2

formato2.gaseosaG 1.000

---- 426 VARIABLE z.L = 2278.000 funcion
objetivo

---- 426 VARIABLE h.L acumulador

Miercoles1 Lunes1 Lunes2 Martes1 Martes2

formato1.gaseosaA 18000.000 9000.000

formato1.gaseosaB		4500.000			
formato1.gaseosaC			9000.000		
formato2.gaseosaC		12320.000			
formato2.gaseosaD				15400.000	
formato2.gaseosaE				18480.000	
formato2.gaseosaF		6160.000			
	+ Miercoles2	Jueves1	Jueves2	Viernes1	
Viernes2					
formato1.gaseosaD		4500.000			
formato2.gaseosaA	24640.000		24640.000	24640.000	
15400.000					
	+ Sabado1	Sabado2	Domingo1	Domingo2	
formato1.gaseosaE	13500.000				
formato1.gaseosaG	4500.000				
formato2.gaseosaA		24640.000			
formato2.gaseosaB			24640.000		
formato2.gaseosaG				24640.000	
----	426 VARIABLE m.L	acumular2			
	gaseosaA	gaseosaB	gaseosaC	gaseosaD	gaseosaE
formato1	27000.000	4500.000	9000.000	4500.000	13500.000
formato2	113960.000	24640.000	12320.000	15400.000	18480.000
	+ gaseosaF	gaseosaG			
formato1		4500.000			
formato2	6160.000	24640.000			

---- 426 VARIABLE sf.L acumula cambios de sabor por día y formato

	Lunes1	Lunes2	Martes1	Martes2	Miercoles1
formato1.gaseosaA	1.000		1.000		
formato1.gaseosaB		1.000			
formato1.gaseosaC			1.000		
formato2.gaseosaC		1.000			
formato2.gaseosaD					1.000
formato2.gaseosaE				1.000	
formato2.gaseosaF		1.000			
	+ Miercoles2	Jueves1	Jueves2	Viernes1	Viernes2
formato1.gaseosaD		1.000			
formato2.gaseosaA	1.000		1.000	1.000	1.000
	+ Sabado1	Sabado2	Domingo1	Domingo2	
formato1.gaseosaE	1.000				
formato1.gaseosaG	1.000				
formato2.gaseosaA		1.000			
formato2.gaseosaB			1.000		
formato2.gaseosaG				1.000	

---- 426 VARIABLE sft.L acumula total de cambios de sabor por formato

	Lunes1	Lunes2	Martes1	Martes2	Miercoles1
formato1	1.000	1.000	2.000		
formato2		2.000		1.000	1.000
	+ Miercoles2	Jueves1	Jueves2	Viernes1	Viernes2


```

formato1          1.000
formato2          1.000          1.000          1.000          1.000

```

```

+ Sabado1 Sabado2 Domingo1 Domingo2

```

```

formato1          2.000
formato2          1.000          1.000          1.000

```

---- 426 VARIABLE sft2.L acumula cambios de sabores en el día

```

Lunes2 2.000, Martes1 1.000, Sabado1 1.000

```

```

---- 426 VARIABLE csbr.L = 160.000 costo
total en tiempo por cambio de formato

```

---- 426 VARIABLE scf1.L suma de cambios de formato por día

```

Lunes1 1.000, Lunes2 1.000, Martes1 1.000, Martes2
1.000
Miercoles1 1.000, Miercoles2 1.000, Jueves1 1.000, Jueves2
1.000
Viernes1 1.000, Viernes2 1.000, Sabado1 1.000, Sabado2
1.000
Domingo1 1.000, Domingo2 1.000

```

```

---- 426 VARIABLE ccf.L = 2100.000 costo en
tiempo por cambio
de formato

```

---- 426 VARIABLE desg.L desglose prod

INDEX 1 = patron002

Martes1

formato1.gaseosaA 9000.000

INDEX 1 = patron004

Lunes1

formato1.gaseosaA 18000.000

INDEX 1 = patron005

Lunes2

formato1.gaseosaB 4500.000

INDEX 1 = patron010

Martes1

formato1.gaseosaC 9000.000

INDEX 1 = patron013

Jueves1

formato1.gaseosaD 4500.000

INDEX 1 = patron019

Sabado1

formato1.gaseosaE 13500.000

INDEX 1 = patron025

Sabado1

formato1.gaseosaG 4500.000

INDEX 1 = patron037

Viernes2

formato2.gaseosaA 15400.000

INDEX 1 = patron040

Miercoles2

Jueves2

Viernes1

Sabado2

formato2.gaseosaA 24640.000 24640.000 24640.000 24640.000

INDEX 1 = patron048

Domingo1

formato2.gaseosaB 24640.000

INDEX 1 = patron052

Lunes2

formato2.gaseosaC 12320.000

INDEX 1 = patron061

Miercoles1

formato2.gaseosaD 15400.000

INDEX 1 = patron070

Martes2

formato2.gaseosaE 18480.000

INDEX 1 = patron074

Lunes2

formato2.gaseosaF 6160.000

INDEX 1 = patron088

Domingo2

formato2.gaseosaG 24640.000

EXECUTION TIME = 0.152 SECONDS 6 MB 25.1.1 r66732
LEX-LEG

USER: NEOS server license G180814/0001AS-
LNX

University of Wisconsin-Madison, Computer Sciences Dept.
DC8499

License for teaching and research at degree granting
institutions

**** FILE SUMMARY

Input /var/lib/condor/execute/dir_1513991/MODEL.gms

Output /var/lib/condor/execute/dir_1513991/solve.out

ANEXO 2 ALGORITMO DE REORDENAMIENTO EN MATLAB

```
% Import data from text file.
% Script for importing data from the following text file:
%
%   C:\ Paul\DATOS1.txt
%
% To extend the code to different selected data or a different text
file,
% generate a function instead of a script.

% Auto-generated by MATLAB on 2018/08/28 01:47:36

%% Initialize variables.
filename = 'C:\ Paul\DATOS1.txt';
delimiter = ',';
startRow = 2;

%% Format string for each line of text:
%   column1: double (%f)
%   column2: text (%s)
%   column3: text (%s)
%   column4: text (%s)
%   column5: double (%f)
%   column6: double (%f)
%   column7: double (%f)
% For more information, see the TEXTSCAN documentation.
formatSpec = '%f%s%s%s%f%f%f%[\n\r]';

%% Open the text file.
fileID = fopen(filename,'r');

% Read columns of data according to format string.
```

```
% This call is based on the structure of the file used to generate
this
% code. If an error occurs for a different file, try regenerating
the code
% from the Import Tool.
textscan(fileID, '%[^\n\r]', startRow-1, 'ReturnOnError', false);
dataArray = textscan(fileID, formatSpec, 'Delimiter', delimiter,
'ReturnOnError', false);

%% Close the text file.
fclose(fileID);

%% Post processing for unimportable data.
% No unimportable data rules were applied during the import, so no
post
% processing code is included. To generate code which works for
% unimportable data, select unimportable cells in a file and
regenerate the
% script.

%% Create output variable
dataArray([1, 5, 6, 7]) = cellfun(@(x) num2cell(x), dataArray([1, 5,
6, 7]), 'UniformOutput', false);
DATOS2 = [dataArray{1:end-1}]
d1=[dataArray{1:1}]
d2=[dataArray{2:2}]
d3=[dataArray{3:3}]
d4=[dataArray{4:4}]
d5=[dataArray{5:5}]
d6=[dataArray{6:6}]
d7=[dataArray{7:7}]
n=length(d1);

A=struct('orden','','dia','','turno','','formato','','sabor','','ca
ntidad','','horas','');
```

```
for i=1:n
    A(i).orden=i;
    A(i).dia=d2(i);
    A(i).turno=d3(i);
    A(i).formato=d4(i);
    A(i).sabor=d5(i);
    A(i).cantidad=d6(i);
    A(i).horas=d7(i);
    A(i);
end

% Clear temporary variables
clearvars filename delimiter startRow formatSpec fileID dataArray
ans;
%%

for i=1:n

    fprintf('%s Turno %d Fabricar packs %s %s: %d \n',
A(i).dia,A(i).turno, A(i).formato,A(i).sabor, A(i).cantidad);

end
```

Bibliografía

- Carolina, P. (2001). *Áreas de control de producción*. Ecuadorwillana. (2017). *Mano­factura . Ecuadorwillana*, 3.
- El Telegrafo. (24 de Marzo de 2016). Consumo de bebidas. *El telegrafo*, pág. 5.
- Figuera Vinué, P. (2000). *Optimización de productos y procesos industriales*. Barcelona: Rotapapel.
- Flores, J. F. (2004). *Medición de la efectividad de la cadena de suministro*. México: Panaroma Editorial.
- Forrester. (1961). *Demanda de productos*.
- Heizer, J., & Render, B. (2010). *Principios de administración de operaciones*. México: Pearson Educación .
- Muñoz Negrón, D. F. (2009). *Administración de operaciones. Enfoque de administración de procesos de negocios*. México.
- P. Groover, M. (2000). *Fundamentos de manufactura moderna: materiales, procesos y sistemas*. México.
- Peña Andrés, C. (2017). *Planificación de ventas y operaciones. S&OP en 14 claves*. MargeBooks.
- Rionda Ramirez, J. I. (2006). *Cien conceptos básicos previos y propios de la administración científica*. Guanajato: Eumed.
- Romero Carrillo, P. (2018). *Montaje y mantenimiento de líneas automatizadas*. Madrid: Gráficas Eujoa.
- Roscoe, & Freark. (1971). *Manufacturas y producción*.