



POSGRADOS

MAESTRÍA EN PRODUCCIÓN Y OPERACIONES INDUSTRIALES

RPC-50-41-No.689-2018

OPCIÓN DE
TITULACIÓN:

PROPUESTAS METODOLÓGICAS Y TECNOLÓGICAS
AVANZADAS

TEMA:

PROGRAMACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE RESORTES
AUTOMOTRICES BASADO EN LA TEORÍA DE
RESTRICCIONES EN LA EMPRESA VANDERBILT

AUTOR:

PABLO ALEJANDRO MARÍN LÓPEZ

DIRECTOR:

ADRIÁN EUGENIO ÑAUTA ÑAUTA

CUENCA - ECUADOR
2022

Autor:



Pablo Alejandro Marín López

Ingeniero Industrial.

Candidato a Magíster en Producción y Operaciones Industriales por la Universidad Politécnica Salesiana – Sede Cuenca.

pabloalejandro2203@gmail.com

Dirigido por:



Adrián Eugenio Ñauta Ñauta

Ingeniero Industrial.

Magister en Gestión Tecnológica.

Magister en Seguridad e Higiene Industrial.

Magister en Métodos Matemáticos y Simulación Numérica en Ingeniería.

anauta@ups.edu.ec

Todos los derechos reservados.

Queda prohibida, salvo excepción prevista en la Ley, cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública y transformación de esta obra para fines comerciales, sin contar con autorización de los titulares de propiedad intelectual. La infracción de los derechos mencionados puede ser constitutiva de delito contra la propiedad intelectual. Se permite la libre difusión de este texto con fines académicos investigativos por cualquier medio, con la debida notificación a los autores.

DERECHOS RESERVADOS

©2022 Universidad Politécnica Salesiana.

CUENCA – ECUADOR – SUDAMÉRICA

MARÍN LÓPEZ PABLO ALEJANDRO

PROGRAMACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE RESORTES AUTOMOTRICES BASADO EN LA TEORÍA DE RESTRICCIONES EN LA EMPRESA VANDERBILT

Dedicatoria

El presente proyecto de titulación está dedicado:

A mis padres, Pablo e Isabel, y mis hermanos, Diego y Adriana quienes, con su apoyo incondicional, paciencia y aliento me han permitido llegar a cumplir con esta meta.

A mi esposa que se convirtió en mi apoyo y fortaleza durante este proceso, por su paciencia y comprensión, esfuerzo y cariño para darme hasta el último empujón para terminar este trabajo.

Agradecimientos

A mi tutor, el Ing. Adrián Ñauta, por su amable y atenta colaboración y orientación en el desarrollo de este trabajo.

Al Ing. Juan Vanegas, compañero, jefe y amigo, por las facilidades brindadas para la realización de este estudio.

Resumen

Este estudio propone un sistema de programación de la producción de resortes automotrices basado en la teoría de restricciones para mejorar la disponibilidad de productos terminados de una empresa manufacturera.

Una vez analizado el estado actual del método de programación de la planta manufacturera, se plantea mejorar el sistema de programación de la producción por medio de la determinación de la restricción del sistema (cuello de botella) y su generación de órdenes a través del: algoritmo DBR (Tambor-Cuerda-Amortiguador) y el método RAM (Reposición Activada por la Demanda), para finalmente construir un modelo de simulación mediante el software de simulación que permitió analizar el comportamiento del método propuesto en relación con la método actual en lo referente a las disponibilidad de productos terminados.

Los resultados evidencian que el método actual, basado en pronósticos, no cumple con los niveles requeridos por la directiva de la empresa. Por lo tanto, el método propuesto presenta una alternativa viable para la programación de la producción sostenida en su restricción, que desprende órdenes de producción en función de la reposición activada por el mercado, con el tiempo necesario para completar su procesamiento hasta la restricción y sin sobrepasar los niveles de capacidad que la restricción brinda. De esta manera, la simulación de estos dos escenarios muestra que el método propuesto propone un impacto positivo en la disponibilidad de producto terminado con mejores niveles de rotura de stock pasando del 35.8 % al 15.7 %, aumento en las ventas del 17.19 % y por ende disminución del 92.86 % en lo referente a ventas perdidas.

Todo este desarrollo permitirá que la empresa manufactura disponga de sus productos, disminuyendo tiempos de entrega e inventarios, garantizando el abastecimiento oportuno con una óptima programación de la producción.

Palabras clave: Programación, Producción, Teoría de las restricciones, Reposición activada por la demanda, Tambor-Cuerda-Amortiguador, Simulación.

Abstract

This study proposes a programming system for the production of automotive springs based on the theory of constraints to improve the availability of finished products from a manufactory company.

Once analyzed the current state of the programming method of the manufactory company, it is proposed to improve the programming system of production through the determination of the system constraint (bottleneck) and its command output through: DBR Algorithm (Drum-Buffer-Rope) and the “RAM” method (Demand Driven Replenishment), to finally build a simulation model using the simulation software to analyze the behavior of the proposed method in relation with the current method in reference with the availability of the finished products.

The results show that the current method, based on forecasts, does not comply with the require levels for the company’s board of directors. Therefore, the proposed method presents a viable alternative of programming for a sustained production in its constraints, that gives production commands in function of the activated replenishment by the market, with the necessary time to complete its processing until the constraint and without overpassing the capacity levels that the constraint provides. This way, the simulation of these two scenarios shows that the proposed method shows a positive impact on the availability of the fished product with better stockout levels going from 35.8 % to 15.7 %, increasing sells from 17.19 % and reducing lost sells.

All of this development will allow that the manufacturing company provide their products, decreasing delivery time and inventories, guaranteeing appropriate replenishment with an adequate programming of production.

Keywords: Programming, Production, Theory of Constraints, Demand Driven Replenishment, Drum-Rope-Buffer, simulation.

Índice

Dedicatoria	I
Agradecimientos	II
Resumen	III
Abstract	IV
1. CAPITULO 1: INTRODUCCIÓN	1
1.1. Situación Problemática	1
1.2. Formulación del Problema	1
1.2.1. Problema general	1
1.2.2. Problemas específicos	1
1.3. Justificación Teórica	2
1.4. Justificación Práctica	2
1.5. Objetivos	3
1.5.1. Objetivo general	3
1.5.2. Objetivos específicos	3
2. CAPITULO 2: MARCO TEÓRICO	4
2.1. Antecedentes de investigación	4
2.2. Modelos matemáticos de optimización.	6
2.2.1. Modelización	6
2.2.2. Optimización	6
2.2.3. Programación de la Producción	7
2.2.4. Teoría de las restricciones (TOC)	10
2.3. Reposición Activada por el Mercado (RAM).....	14
2.4. Demand Driven MRP (Material Requirement Planning).....	16
2.5. Simulación.....	17
2.5.1. Tipos de sistemas.	19
2.5.2. Tipos de modelos.....	20

2.5.3. Etapas de un proyecto de simulación.	21
2.5.4. Simulación en Flexsim.	23
3. CAPITULO 3: METODOLOGÍA	24
3.1. Programación de la producción actual.....	24
3.2. Cumplimiento del método actual de programación de la producción	30
3.3. Determinación de los procesos con capacidad limitada.....	34
3.4. Explotación de la restricción.....	38
3.5. Subordinar todo a la restricción.....	40
3.6. Construcción del modelo de simulación	42
3.6.1. Formulación del problema.....	42
3.6.2. Diseño del modelo conceptual	43
3.6.3. Recolección de datos.....	43
3.6.4. Construcción del Modelo	45
3.6.5. Validación del Modelo	51
3.6.6. Simulación de la situación actual y el método propuesto.....	54
3.6.7. Análisis de resultados	58
4. CAPITULO 4: RESULTADOS Y DISCUSIÓN	63
4.1. Presentación, Interpretación y discusión de resultados	63
4.2. Recomendaciones.....	65
Referencias	68
ANEXOS	69

Lista de Tablas

1.	<i>Etapas de un proyecto de simulación</i>	22
2.	<i>Etapas del proceso de S&OP.</i>	25

Lista de Figuras

1.	<i>Componentes Demand Driven MRP (Material Requirement Planning).</i>	17
2.	<i>Histórico Plan Maestro de Producción.</i>	26
3.	<i>Escenarios de cumplimiento del PMP.</i>	27
4.	<i>Priorización de Materia Prima a cortar.</i>	28
5.	<i>Priorización de prensas.</i>	29
6.	<i>Producción en toneladas.</i>	30
7.	<i>Cumplimiento PMP mensual.</i>	32
8.	<i>MAPE: Pronóstico vs Corrección Comercial.</i>	33
9.	<i>Asertividad: Pronósticos vs Corrección Comercial.</i>	34
10.	<i>Ejemplo de Rutas de hojas de resorte para HINO FB M/2002 Delantero.</i>	35
11.	<i>Capacidad Demandada.</i>	36
12.	<i>Producto en Proceso</i>	37
13.	<i>Nivel objetivo ejemplo camión HINO</i>	39
14.	<i>Liberación de ordenes de producción</i>	40
15.	<i>Cronograma de corte de materia prima (Acero) para una semana.</i>	41
16.	<i>Modelo Conceptual.</i>	43
17.	<i>Asignación de propiedades al recurso "Source"</i>	45
18.	<i>Asignación del siguiente proceso para cada código.</i>	46
19.	<i>Asignación de tiempo estar para cada producto.</i>	47
20.	<i>Configuración MTBF/MTTR.</i>	48
21.	<i>Asignación de la estrategia en "Storage Object".</i>	49
22.	<i>Lógica en Process Flow para consumo de hojas en bodega de producto terminado.</i>	50
23.	<i>Lógica en Process Flow para creación WIP inicial y transporte de lotes por ejecutores de tarea.</i>	50
24.	<i>Configuración de horarios de trabajo.</i>	51
25.	<i>Producción de modelo de simulación por proceso.</i>	52
26.	<i>Producción de modelo de simulación vs producción real.</i>	53
27.	<i>Hojas en proceso - simulación del modelo construido.</i>	54

28.	<i>Configuración para ordenamiento de cola.....</i>	55
29.	<i>Indicador de existencias de producto terminado en bodega por Ítem.</i>	56
30.	<i>Indicador nivel de producto terminado en bodega.</i>	57
31.	<i>Indicadores Ventas totales y ventas perdidas</i>	57
32.	<i>Gráfico comparativo de Inventario de producto terminado situacion actual vs propuesta.</i>	59
33.	<i>Nivel de inventario en el sistema.</i>	60
34.	<i>Gráfico comparativo de Hojas Vendidas Situación Actual vs Propuesta.....</i>	61
35.	<i>Gráfico comparativo de Hojas No Vendidas Situación Actual vs Propuesta.....</i>	62

1. CAPITULO 1: INTRODUCCIÓN

1.1. Situación Problemática

La empresa Vanderbilt, dedicada a la fabricación y comercialización de resortes automotrices fue fundada en el año 1962 y perteneciente al Grupo Industrial Graiman, posee una cartera de casi 2000 productos de las cuales se mueven entre 600 a 700 con una producción de 32000 unidades al mes equivalente a 200 toneladas. A pesar de que en la empresa se desarrolla el proceso de “Planeación de Ventas y Operaciones” (S&OP, por sus siglas en inglés) para tratar de cumplir con esta demanda, el error en el pronóstico y la de-sincronización entre: ventas, niveles de inventarios para la venta y la programación de la producción, es común en la empresa y ocasiona las urgencias frenéticas en compras, producción y distribución, entre otros eslabones de la empresa, para atender la sobre-demanda de algunos productos, mientras existe exceso de inventario en otros y que, con la gran cantidad de ítems que se mueven al mes, se hace muy complicado cumplir con los objetivos en disponibilidad, asertividad y plazos de entrega.

1.2. Formulación del Problema

1.2.1. Problema general

¿Es posible proponer un sistema de programación de la producción de resortes automotrices basado en la teoría de restricciones en la empresa Vanderbilt para mejorar la disponibilidad de productos terminado?

1.2.2. Problemas específicos

- ¿Es posible analizar la situación actual en la programación de la producción de la planta de resortes Vanderbilt para evaluar su cumplimiento?
- ¿Se podrá evaluar la capacidad demandada históricamente en los procesos productivos de la planta Vanderbilt para determinar la restricción del sistema?
- ¿Es posible plantear un sistema de generación de ordenes de producción basada en la

Reposición Activada por el Mercado y el algoritmo Tambo-Cuerda-Amortiguador para la programación de tareas y abastecimiento de producto terminado?

- ¿Se podrá simular el método propuesto para evaluar su comportamiento?

1.3. Justificación Teórica

De acuerdo con Cox III, CFPIM, and Schleier Jr (2010) los métodos de pronósticos de demanda son siempre errados en parte debido a que las decisiones gerenciales generalmente no incluyen en ésta un valor de error de pronóstico y se basan solo en el pronóstico promedio. El punto más problemático en el pronóstico se basa en la suposición de que las características del pasado no van a cambiar y, por lo tanto, podemos deducir el futuro del pasado. Este error genera stocks de productos agotados y excedentes en otros.

Por otro lado, liberar órdenes de producción con el único fin de alcanzar la máxima productividad y eficiencia en procesos locales genera: gran cantidad de inventario en proceso (WIP, por sus siglas en inglés) que esperan hasta el 90 % de su tiempo en centros de trabajo para ser procesadas, dificultad en completar órdenes a tiempo y caos por tener que redefinir tareas prioritarias (Goldratt, 2008).

1.4. Justificación Práctica

El trabajo de titulación propondrá un sistema de planificación y programación de la producción de resortes. Se aplicará la metodología de “Reposición Activada por el Mercado” (RAM) mediante la cual se calculará un nivel de inventario óptimo en base al monitoreo constante de las ventas, y en base a alertas se generará las órdenes de producción cuando el mercado requiera un producto para su reposición del faltante del inventario (Goldratt, Brown-leer, and Eshkoli, 2010). Se aplicará el proceso de enfoque de la “Teoría de las Restricciones” (TOC, por sus siglas en inglés) e implementará el algoritmo Tambor-Cuerda-Amortiguador (DBR, por sus siglas en inglés) para la liberación sincronizada de órdenes de producción y ejecución de tareas productivas (Estellés Miguel, Barbera Ribera, Albarracín Guillem, and Dema Pérez, 2010).

Por otro lado, los resultados de este trabajo de titulación contribuirán a entender las deficiencias en los tradicionales métodos de planificación con pronósticos de demanda, la necesidad de abolir las eficiencias locales y enfocarse en balancear el flujo productivo, mediante la simulación con software especializados.

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo general

Proponer un sistema de programación de la producción de resortes automotrices basado en la teoría de restricciones en la empresa Vanderbilt para mejorar la disponibilidad de productos terminados.

1.5.2. Objetivos específicos

1. Analizar la situación actual en la programación de la producción de la planta de resortes Vanderbilt para evaluar su cumplimiento.
2. Evaluar la capacidad demandada históricamente en los procesos productivos de la planta Vanderbilt para determinar la restricción del sistema.
3. Plantear un sistema de generación de ordenes de producción basada en la Reposición Activada por el Mercado y el algoritmo Tambo-Cuerda-Amortiguador para la programación de tareas y abastecimiento de producto terminado.
4. Simular el método propuesto para evaluar su comportamiento.

2. CAPITULO 2: MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de investigación

En la bibliografía reciente, encontramos que Lizarralde (2020) implementó el algoritmo DBR en una empresa líder en el mercado del mecanizado de alta precisión, ubicada en el país vasco (España), la cual proporciona soluciones personalizadas a sus clientes repartidos por todo el mundo. Sus activos de fabricación incluyen diferentes tecnologías, como corte, granallado, decapado y neutralizado, prensado, soldadura, pintura y maquinado. El autor encontró que el proceso de planificación estuvo enfocado a maximizar el rendimiento y la producción de todos los tramos con una visión local. Por lo tanto, cada sección desarrolló un plan de producción semanal basado en órdenes de producción con el objetivo de “horas trabajadas por día”. Este enfoque resultó en que la empresa tuviera problemas para cumplir con las expectativas de entrega oportuna al cliente, a pesar de que el equipo de administración pensó que la capacidad existente era lo suficientemente grande para completar el trabajo de acuerdo con las fechas de vencimiento. Para solucionar este problema se aplicó la evolución de la metodología DBR de la Teoría de Restricciones (TOC). Los resultados más relevantes obtenidos después de la implementación de DBR, incluido el proceso sistemático de los dos primeros pasos de TOC, fueron los siguientes:

- El nivel de servicio aumentó del 50 % al 70 %,
- El período de madurez de fabricación disminuyó en un 10 % y
- El nivel de inventario (WIP) disminuyó en un 20 %.

En su estudio Kolumber and Menšík muestra el desarrollo del modelo S-DBR en una empresa de producción de sellos de goma y resume el impacto al aplicar el enfoque S-DBR. Los resultados muestran que la productividad de los empleados aumentó aproximadamente del 60 % al 85 % - 92 % (varía para ciertas áreas de producción). Otro resultado interesante al aplicar esta metodología de enfoque fue se identificó desde el punto de vista de la empresa una mejora en la producción en un 25 % al limitar horas extras en procesos que no fuera el cuello de botella y reducir el 50 % del personal en producción innecesaria, a pesar de aumentar el

salario en un 75 % de los empleados de producción involucrados. Esto último produjo un efecto medible que fue la disminución de la tasa de rotación del personal del 14 % al 7 % aproximadamente. Otra mejora fue la disminución de los costos que se contabilizan como gastos en alrededor del 65 % . De esta manera el autor concluye que la implementación de esta metodología fue exitosa y beneficiosa no solo desde el punto de vista de la empresa, sino de los empleados también.

Otro estudio para nuestro interés es de Puche, Costas, Ponte, Pino, and de la Fuente (2019) donde, de manera global, analiza el desempeño de una cadena suministros de cuatro eslabones evidenciando la menor sensibilidad frente a la variabilidad y el mayor rendimiento financiero del mecanismo DBR, que se produce cuando este mecanismo mejora la solidez de la cadena de suministro debido a su orientación de cuello de botella, en comparación con el sistema Kanban. La cadena de suministros analizada hace referencia al tradicional ejercicio del “Juego de la Cerveza” desarrollado por el MIT. Curiosamente, los resultados revelan que el dilema entre Kanban y DBR depende en gran medida de la gravedad de las condiciones ambientales en las que opera el sistema. En presencia de un ruido severo, la metodología DBR supera al sistema Kanban en términos de desempeño financiero. El incremento medio del beneficio neto en las pruebas realizadas es del 8,47 %. A través de su orientación de cuello de botella, el inventario se asigna estratégicamente a lo largo de la cadena de suministro y, por lo tanto, puede lograr una tasa de llenado más alta con un gasto operativo más bajo, haciendo que la cadena de suministro no solo sea más eficiente sino también flexible.

Alzubi, Atieh, Abu Shgair, Damiani, Sunna, and Madi (2019) describe la importancia de integrar la Teoría de las Restricciones con varias herramientas importantes como el Mapa del flujo de valor (VSM) y la simulación de eventos discretos y así de esta manera visualizar y analizar los procesos de la empresa en un contexto más amplio y su vez proporcionar indicadores cuantificables como: Tiempo de entrega de fabricación y eficiencias generales de los equipos (OEE). Sobre la base de los datos recopilados de las líneas de producción y el modelo de simulación con varios escenarios, se utilizaron métodos de detección de dos cuellos de botella para luego enfocar los esfuerzos de mejora y posteriormente obtener un aumento de un 15 % en la productividad de los mismos y, por ende, de todo el sistema productivo. El autor hace hincapié en la gran utilidad de la simulación para detectar cuellos de botella ya

que esta herramienta permite al analista modelar un sistema existente o un sistema que aun no se a construido en la vida real, además de poder usarlo y probarlo en diferentes condiciones y así visualizar flujos de materiales, tiempos de espera y utilización de recursos.

Por último Thüerer and Stevenson (2018) centra su estudio en la simulación de escenarios con la aplicación del sistema Tambor-Cuerda-Amortiguador (DBR) y el potencial de usar diferentes combinaciones de reglas para secuenciar y liberar ordenes de trabajo y así mejorar el rendimiento del método. Los experimentos de simulación controlada fueron ejecutados en modelos de Taller de flujo puro y Taller de flujo general con diferentes grados de enrutamiento de productos pero de flujo directo (sin flujos con re-entradas), y demostraron que el rendimiento se puede mejorar significativamente al cambiar entre un enfoque en la urgencia y un enfoque en el tiempo de procesamiento de cuello de botella más corto durante los períodos de alta carga. Usaron diferentes reglas de secuenciación y despacho de trabajo pendiente como: reglas de urgencia según la planificación del cuello de botella, reglas basadas en la carga de trabajo en el cuello de botella, y reglas combinadas de urgencia y carga.

2.2. Modelos matemáticos de optimización.

2.2.1. Modelización

“La modelización es una de las áreas más atractivas de la ingeniería y las ciencias aplicadas. De hecho, los ingenieros necesitan construir modelos para resolver problemas de la vida real. El objetivo de un modelo consiste en reproducir la realidad de la forma más fiel posible, tratando de entender cómo se comporta el mundo real y obteniendo las respuestas que pueden esperarse de determinadas acciones. En la práctica se utilizan muchos tipos de modelos, tales como modelos de ecuaciones diferenciales, modelos de ecuaciones funcionales, modelos en diferencias y de elementos finitos, y modelos de programación matemática” (Castillo, Conejo, Pedregal, Garcia, and Alguacil, 2002).

2.2.2. Optimización

“La optimización con sus múltiples sabores (lineal, no lineal, entera, estocástica, multiobjetivo), es una disciplina típica de la investigación operativa (...) Tuvo un progreso

algorítmico inicial muy rápido. Muchas técnicas – programación lineal (linear programming) LP, programación dinámica (Dynamic programming) DP – son anteriores a 1960. Por ejemplo, el método Simplex de programación lineal debido a Dantzig, es de 1947, el principio de optimalidad de Bellman base de la programación dinámica se formuló en 1957” (Ramos, Sánchez, Ferrer, Barquín, and Linares, 2010).

Los métodos de optimización se pueden clasificar en: métodos clásicos, que buscan el óptimo local, y métodos metaheurísticos, que tienen mecanismos específicos para alcanzar un óptimo global, aunque no garantizan su alcance (Ramos et al., 2010).

2.2.3. Programación de la Producción

Una forma tradicional de determinar la capacidad que se requiera se explica en el trabajo de Chase (2009) en donde se debe seguir los siguientes pasos:

1. Usar técnicas de pronóstico para inferir las ventas de cada uno de los productos individuales;
2. Calcular la maquinaria y complementos necesarios, así como la mano de obra que se requerirá para cumplir los pronósticos de ventas calculado anteriormente; y,
3. Proyectar la maquinaria, complementos y la mano de obra que estará disponible durante el horizonte del plan. Generalmente, las empresas toman la decisión de salvarse con un colchón de capacidad que se mantendrá entre los requerimientos proyectados y la capacidad real.

En relación al primer literal, diferentes métodos de pronósticos han sido utilizados desde el siglo XIX y han masificados su aplicación en las organizaciones debido a que se desarrollaban técnicas de pronósticos más sofisticadas, más el advenimiento de las computadoras y desarrollo de software, facilitando su interpretación (Hanke and Wichern, 2006).

Según González (2020) los modelos de pronóstico de la demanda utilizados con más frecuencia son:

- Método Promedio Simple;

-
- Método Promedio Móvil Simple;
 - Método de Promedios Ponderados Móviles;
 - Método de Regresión Lineal;
 - Suavizamiento Exponencial Simple;
 - Método de Índices de Estacionalidad;
 - Suavizamiento Exponencial Doble.

Como menciona Román Cuadra et al. (2017), es común saber que un pronóstico nunca se cumple exactamente y que literalmente su probabilidad de acertar es igual a cero. Puede ocurrir dos posibilidades:

- La demanda real es superior al pronóstico: ocasionando ventas perdidas, o urgencias frenéticas para atender esta sobre demanda generando caos en toda la empresa;
- La demanda es inferior al pronóstico: pudiendo generar, en ciertos casos, excesos de inventarios y que atrapan capital, costos y espacio. Los costos de mantener el inventario almacenado pueden variar entre el 18 y el 75 % anual de su valor, información de gran valor aunque muy poco conocido.

También en el trabajo de Chase (2009), se menciona que un sistema de ejecución de manufactura ejecuta cada trabajo u orden de trabajo que llega a cada centro de trabajo en donde los sistemas de programación pueden ser de carga infinita o finita, hacia atrás o adelante en el tiempo (progresiva o en retroceso).

Para y Chase. Richard B y Lummus. Rhonda R (2014), los sistemas de carga infinita: asignan el trabajo a cada centro o estación de trabajo tal como las necesidades surjan a lo largo del tiempo, no consideran importante el análisis de la capacidad de los recursos para completar el trabajo ni su sucesión real en cada recurso, basta la inspección superficial de una posible acumulación de carga en los principales recursos mediante el sencillo cálculo del volumen de trabajo en un período de tiempo requerido con estándares de producción y set-ups, para cada pedido.

En su trabajo Chase (2009) indica que en un enfoque de carga finita: se programa al detalle todo recurso en los tiempos de preparación y corrida para cada pedido, donde el sistema determina exactamente qué se hará con cada recurso en todo momento de la jornada de trabajo, y si una operación se demora por falta de componentes, el pedido se queda en la cola hasta que una operación previa saca a disposición el componente.

“Otra característica que distingue los sistemas de programación es si procede hacia atrás o adelante en el tiempo. Para esta dimensión temporal, lo más común es la programación progresiva, que se refiere a la situación en la que el sistema toma un pedido y programa todas las operaciones que hay que completar oportunamente. Un sistema que proyecta la programación indica la fecha más próxima en que se termine el pedido. Por lo contrario, la programación en retroceso comienza en alguna fecha futura (quizás en un plazo previsto) y se programan las operaciones requeridas en sentido inverso. La programación en retroceso indica cuándo empezar un pedido para terminarlo en una fecha específica” (Chase, 2009).

En la realidad las máquinas o la mano de obra limitan los procesos y son estos los que se deben programar de manera específica y concreta, donde los equipos se programarán si las máquinas son las limitantes o es su defecto se debería programar al personal si las limitantes es la mano de obra; generalmente casi todos los programas tienen alguna de estas limitaciones, pero no las dos al mismo tiempo, afortunadamente (Chase, 2009).

Para programar y controlar una operación deben ejecutarse las funciones siguientes:

1. Asignar pedidos, equipamiento y recurso humano a procesos o centros de trabajo y otras áreas particulares. En esencia, es una planeación de capacidad de corto plazo;
2. Definir la secuencia de ejecución de cada uno de los pedidos (es decir, determinar las prioridades laborales);
3. Iniciar el desempeño del trabajo programado; y,
4. Control de actividades de producción, que involucra;
 - Revisar el avance y control de los pedidos conforme son procesados; y,
 - Examinar los pedidos retrasados y muy importantes (Chase, 2009).

“El proceso de determinar el pedido en una máquina o en un centro de trabajo se llama secuenciación o también secuenciación por prioridades. Las reglas de prioridad son reglas usadas para obtener una secuenciación de los trabajos. Las reglas pueden ser muy simples y pedir únicamente que los trabajos se ordenen de acuerdo con un dato, como el tiempo de procesamiento, plazo u orden de llegada. Otras reglas, aunque también simples, requieren más datos, casi siempre para obtener un número indicador, como la regla del menor margen de tiempo y la regla de la proporción crítica. Otras más, como la regla de Johnson, se aplican a la programación de trabajos en una secuencia de máquinas y requieren un procedimiento de cómputo para especificar el orden de desempeño” (Chase, 2009).

Las siguientes medidas de desempeño de los programas se usan para evaluar las reglas de prioridad:

1. Cumplir las fechas de entrega a los clientes o a las operaciones posteriores;
2. Minimizar el tiempo de tránsito (el tiempo que pasa un trabajo en el proceso);
3. Minimizar el inventario de trabajos o producto en proceso sin terminar;
4. Minimizar el tiempo ocioso de máquinas y trabajadores (Chase, 2009).

2.2.4. Teoría de las restricciones (TOC)

En su estudio Estellés Miguel et al. (2010), afirma que la teoría de las restricciones (TOC por sus siglas en inglés) es una metodología sistémica de gestión y mejora para las empresas. “Existen diferentes versiones que intentan establecer su origen, siendo la más conocida de ellas la atribuida a Eliyahu Goldratt y que se basa en la creación de un algoritmo de programación en los años setenta. Otros autores afirman que en realidad TOC nace del trabajo de diversos investigadores de todo el mundo y como evidencia señalan algunas características de esta teoría que no fueron desarrolladas por Goldratt. Entre ellas se mencionan: la teoría de colas, el costeo directo, la simulación y el throughput (rendimiento, término que se podría considerar como la tasa a la que el sistema genera dinero por medio de las ventas). Lo que sí se puede afirmar es que Goldratt tiene el mérito de haber encontrado una forma que permite a la

mayoría de las personas el uso correcto de dichas herramientas con una alta probabilidad de conseguir mejores resultados” (Abisambra-Lemus, Mantilla-Cuadros, et al., 2014).

Los conceptos principales que TOC contribuye a más del incremento en la productividad al mismo tiempo que reducir tanto el inventario como el tiempo de ciclo y tiempo de entrega son:

- Thinking Process: conjunto de herramientas que facilitan el análisis y la búsqueda de soluciones sistémicas para situaciones problemáticas;
- Aplicaciones robustas basadas en el pensamiento sistémico y métodos de investigación de operaciones: producción, operaciones, cadena de suministro, gestión de proyectos, toma de decisiones, etc (Estellés Miguel et al., 2010).

En el libro “La Meta” escrita por Goldratt (2010) se discuten conceptos muy interesantes los cuales podemos resumir en que: la meta de toda empresa es “Ganar Dinero” ahora y en el futuro y no enfocarse en las eficiencias locales; para aumentar las utilidades se necesita: aumentar el Trupút, bajar niveles de inventario y reducir los gastos de operación; y, para evaluar las acciones o ideas, buscar cual es el impacto en el trupút, inventario y gastos de operación.

El proceso de mejora continua descrito por Goldratt en su libro “La Meta” es el siguiente (Goldratt, 2010):

1. Identificar las restricciones del sistema (se define como restricción aquel recurso cuya capacidad es menor a la demandada);
2. Explotar la restricción. (mejorar los set-up, coordinar paras por almuerzo y cambio de turnos, control de calidad de piezas antes de ser procesada por la restricción, etc.);
3. Subordinar todo a la restricción. (procesos anteriores no producir más de lo que el cuello de botella necesita);
4. Elevar la restricción del sistema. (procesar partes en otras máquinas); y,
5. Regresar al paso 1 (La restricción se trasladó a otro eslabón de la cadena).

Para ejecutar el paso 3, “Subordinar todo a la restricción”, Goldratt recomienda mejorar el flujo, cuyos pasos recomendados son: ahogar la liberación de materiales, escoger el buffer de tiempo, inicialmente puede ser la mitad del tiempo de entrega; un sistema de prioridades claro y preciso; abolir las eficiencias locales; identificar la restricción y explotarla. Todo esto se conoce como el sistema Tambor-Amortiguador-Cuerda, conocido como DBR por sus siglas en inglés (Goldratt, 2008).

Goldratt sostiene la existencia de “tres clases de restricciones: las físicas del sistema, las de mercado y las políticas creadas que dictaminan reglas del sistema:

- Restricciones Físicas: son generadas por elementos tangibles del sistema, componente en el proceso, que genera flujos de resultados es menor a lo esperado y se presentan en las Materias primas, procesos y mercados;
- Restricciones de mercado: cuando la restricción o impedimento está determinado por la demanda de productos o servicios;
- Restricciones Políticas: están relacionadas con reglas diseñadas e impuestas al sistema como son los procedimientos, indicadores y políticas. Se presentan con efectos discordantes con el fin del sistema, que lo condicionan, causando problemas, demoras o dificultades en los procesos, las acciones y logros de resultados positivos” (Lu, 2018).

Los fabricantes históricamente han intentado equilibrar la capacidad mediante una secuencia de procesos en un intento de nivelar la capacidad con la demanda del mercado (Chase, 2009). TOC en lugar de esto, intenta equilibrar el flujo de producto a través del sistema. Cuando el flujo está equilibrado, las capacidades no lo están. Esta es la razón por la que, en lugar de equilibrar las capacidades, se debe equilibrar el flujo de producto a través del sistema (Estellés Miguel et al., 2010).

TOC establece que no se puede eliminar cierta variabilidad y que el proceso no se puede equilibrar totalmente, especialmente en entornos JOB-SHOP (Castro, Mirón, and Delgado, 2005). Ante esto el algoritmo Tambor-Cuerda-Amortiguador (DBR, por su siglas en inglés) aparece como una solución a la aplicación de TOC a la producción, proporcionando excelente cumplimiento de plazo de entrega al mismo tiempo que se minimizan los inventarios

(Estellés Miguel et al., 2010). El tambor (Drum) es el recurso con capacidad restringida (restricción), el amortiguador (Buffer) es un mecanismo de protección y la cuerda (Rope) es un dispositivo de comunicación que se extiende entre el recurso con capacidad restringida y proceso inicial que libera material a la planta (Correa Cevallos, Crow Santos, Orosco Cabrera, et al., 2015).

El DBR es un algoritmo de planificación mucho menos detallado. Solo se programa una restricción en detalle y el resto de los recursos no tienen ningún programa. Sin embargo, la liberación del material se programa en detalle con la noción de que el programa para el lanzamiento del material significaba: ¡No liberar antes! (Schragenheim, Dettmer, and Patterson, 2009)

La metodología del DBR ha definido claramente los puntos críticos en la estructura del producto que deben planificarse cuidadosamente. Tres importantes puntos de control son (Schragenheim et al., 2009):

1. Las fechas de entrega para todos los pedidos después de una cuidadosa validación de que estas fechas son bastante seguras.
2. El cronograma detallado del Recurso con Capacidad Restringida (CCR).
3. El cronograma para la liberación del material.

En su análisis, Rahman (1998) sintetiza el trabajo de Fox and Goldratt (1986) sobre los dos conjuntos de medidas; globales (financieras) y operativas. Dado que las mediciones globales se pueden expresar a través de las mediciones operativas, las mediciones operativas se definen primero:

1. Rendimiento (T): la tasa a la que el sistema genera dinero a través de las ventas (la producción que no se vende no es rendimiento sino inventario);
2. Inventario (I): todo el dinero invertido en cosas que el sistema pretende vender;
3. Gastos Operativos (OE): todo el dinero que gasta el sistema en convertir el inventario en rendimiento Fox and Goldratt (1986).

Así pues también podemos decir que el rendimiento se representa como las ventas menos el costo “totalmente variable”; el inventario incluye cualquier inventario físico como materia prima, trabajo en proceso, productos terminados no vendidos e incluye herramientas, construcción, equipo de capital y mobiliario; y, los gastos operativos incluyen gastos tales como mano de obra directa e indirecta, suministros, contratistas externos y pagos de intereses (Rahman, 1998).

Hay tres medidas globales:

1. Beneficio Neto (NP): una medida absoluta en dólares expresada como T total menos OE;
2. Retorno de la Inversión (ROI): una medida relativa que es igual a NP dividido por el inventario (I); y,
3. Flujo de Caja (CF): una “línea roja” de supervivencia que es una medida de tipo “intermitente”, es decir, cuando una empresa tiene suficiente efectivo, no es tan importante, pero cuando no hay suficiente efectivo, nada es más importante que el dinero en efectivo para su supervivencia (Rahman, 1998).

2.3. Reposición Activada por el Mercado (RAM)

En lugar de mejorar el algoritmo para el cálculo de pronóstico para mejorar los niveles de inventario de producto terminado y de servicio, la Reposición Activada por el Mercado (RAM) se enfoca en reducir uno de los elementos de mayor impacto en tiene en la precisión del pronóstico, “el tiempo de reposición” y así obtener un nivel adecuado de inventario (Goldratt et al., 2010).

De acuerdo con Goldratt et al. (2010), en su obra *¿No es obvio?*, la metodología RAM consiste en lo siguiente:

1. Definición de los Niveles de Inventario Adecuado: estos se calculan utilizando la ecuación del amortiguador o buffer:

$$Buffer = PV * DP * S * TR \quad (1)$$

-
- Promedio de Ventas (PV): Ventas de un periodo de tiempo establecido para el cálculo entre el número de días que comprende dicho período.
 - Demanda Paranoica (DP): Factor que protege la disponibilidad de productos en picos de ventas.
 - Factor de Seguridad (S): Este factor depende el escenario y protege la disponibilidad ante cualquier eventualidad propio de un ambiente productivo o logístico como: fallas mecánicas en producción, fallas de proveedores, distribución, etc. Goldratt denomina a estos eventos como efectos de Murphy.
 - Tiempo de Reposición (TR): Tiempo que transcurre desde que se lanza el pedido hasta que llega al eslabón emisor.
2. Monitorear el consumo y zonas del buffer: se debe supervisar constantemente el nivel de inventario que disminuye con el consumo y que se eleva con el aprovisionamiento, para esto el nivel objetivo de inventario se lo dividirá en tres zonas:
 - Zona verde: inventario en exceso
 - Zona amarilla: inventario adecuado
 - Zona roja: inventario insuficiente
 3. Reabastecimiento: las ordenes de producción o de compra, según sea el caso, deben ser emitidas cuando los niveles de inventario lleguen a la zona amarilla del buffer respectivo. Las cantidades emitidas serán las suficientes para que el nivel de inventario llegue a la zona verde (nivel objetivo).
 4. Gestión de Buffers: los cambios en la demanda, que son muy difíciles de pronosticar, se evidencian dentro del monitoreo de los niveles de inventario según como estos ingresan o se mantiene en los niveles o zonas de color. Si el nivel de inventario se mantiene en la zona verde dentro de un periodo igual al tiempo de reposición, es necesario reducir en un tercio el nivel objetivo de inventario; y si los niveles de inventario ingresan en una gran porción de la zona roja dentro de un periodo igual al tiempo de reposición, es necesario incrementar los niveles objetivo de inventario en un tercio (Goldratt et al., 2010).

En cualquier momento dado, amortiguador de existencias se divide en la parte que existe como productos terminados y disponibles para la venta inmediata, y el inventario que complementa la parte anterior al nivel objetivo completo y si suponemos que mantenemos el nivel objetivo intacto, la última parte tiene la forma de todos los componentes del producto, necesarios para que los productos terminados sean iguales al nivel objetivo; de esta manera se entiende que la parte del amortiguador que no está en los productos terminados se llama “penetración en el amortiguador” porque ese inventario aún no ha completado su fabricación y, por lo tanto, actualmente no está disponible para su envío inmediato Schragenheim et al. (2009). Así de esta manera la priorización en piso debe ser por el de mayor penetración en inventario.

2.4. Demand Driven MRP (Material Requirement Planning)

Fundamentalmente, DDMRP es una metodología que modifica las reglas tradicionales de gestión de cadenas de suministro, que funcionan bajo la modalidad de “Empujar y Promover” (Push and Promote) hacia una modalidad de “Posicionar y tirar” (Position and Pull) y que implica el monitoreo de la demanda real en lugar de los pronósticos de ventas, y opera de manera sincronizada a través de toda la cadena; trabajando tanto con piezas estratégicamente repuestas como con todas las piezas que necesitemos, ya sean distribuidas, fabricadas, almacenadas o repuestas (Román Cuadra et al., 2017).

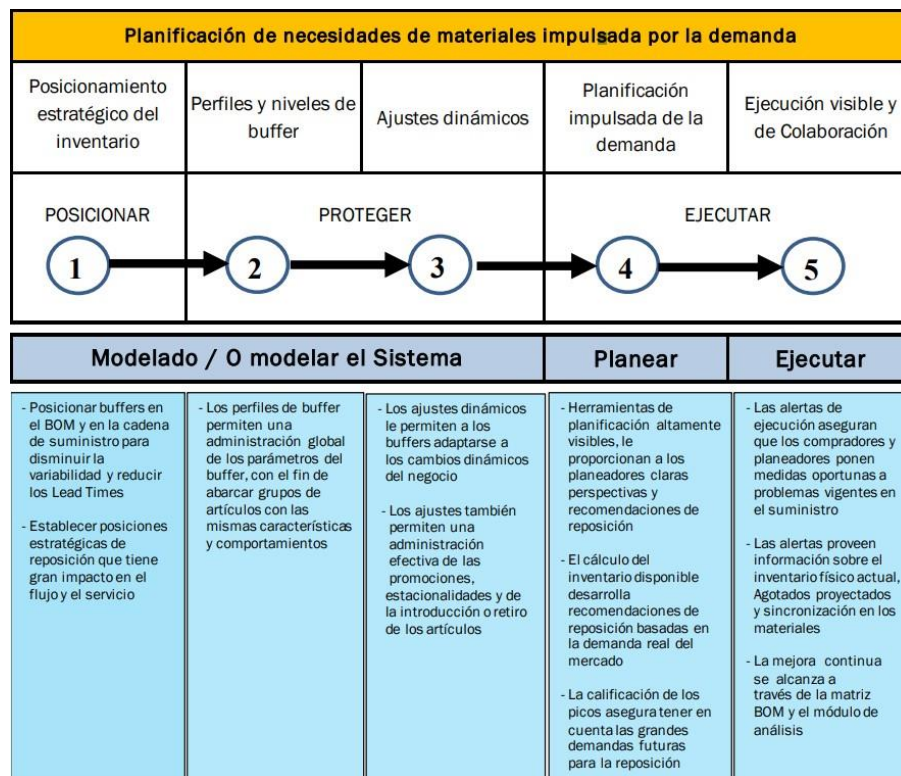
En su trabajo Román Cuadra et al. (2017), hace una síntesis de los 5 componentes principales de la metodología DDMRP basado en el trabajo de Ptak and Smith (2011) en su obra “DDMRP, Demand Driven Materials Requirements Planning” descritos a continuación:

1. Posicionamiento estratégico de inventario;
2. Perfiles de buffer y la determinación de su nivel;
3. Los buffers dinámicos;
4. Planificación controlada por la demanda; y,
5. Ejecución de alta visibilidad y de Colaboración.

Estos cinco componentes trabajan juntos para amortiguar o eliminar el nerviosismo innecesario de sistemas MRP tradicionales y el efecto látigo resultante en entornos complejos y desafiantes, donde los planificadores ya no tienen que tratar de responder con un mensaje único para cada pieza que está fuera por un solo día; generando a través de este enfoque información real acerca de aquellas piezas que están realmente en riesgo de afectar negativamente a la disponibilidad prevista de inventario (Román Cuadra et al., 2017).

Figura 1

Componentes Demand Driven MRP (Material Requirement Planning).



Nota: Resumen de la planificación de necesidades de materiales impulsada por la demanda, adaptado de Román Cuadra et al. (2017)

2.5. Simulación

“La elevada competitividad industrial, así como las exigencias en precios y calidad del producto, obliga a que las empresas deban reconfigurar continuamente su cartera de productos,

sus métodos operativos, sus enfoques de mercado, su proceso de acopio de materiales y distribución de los productos” (Piera and i Eroles, 2006), .

En el ámbito productivo, la planificación en el uso adecuado de los recursos para satisfacer la demanda para un horizonte de planificación “debe contemplar de modo integral los 3 tipos de periodos para la toma de decisiones: largo plazo, mediano plazo y corto plazo. En la planificación a largo plazo la toma de decisiones suele centrarse en aspectos estratégicos, tales como productos, selección de equipos y procesos, recursos, servicios y localización. La planificación a medio plazo comporta la toma de decisiones tácticas, tales como sobre el acopio de material, establecer las cantidades de producción de cada producto, con el objetivo de optimizar algún criterio de rendimiento tal como la minimización de los costes sin violar las restricciones de capacidad. En la planificación a corto plazo las decisiones están vinculadas a los aspectos más operacionales, como la programación diaria de operaciones y la secuenciación de tareas” (Piera and i Eroles, 2006).

“Los modelos utilizados para el análisis y la toma de decisiones en planificación pueden ser clasificados en:

1. Modelos deterministas analíticos: se caracterizan en que los parámetros son conocidos y con valores específicos, y el objetivo consiste en alcanzar una solución analítica a través de técnicas de programación matemática. Estos modelos suelen ofrecer soluciones bajo ciertas hipótesis de trabajo, pero se encuentran limitados a representaciones estacionarias del sistema;
2. Modelos analíticos estocásticos: se caracterizan porque al menos uno de los parámetros es desconocido, pero se supone que responde a una cierta función de distribución estadística. Aunque estos modelos suelen representar con mayor grado de detalle el comportamiento de los sistemas reales que presentan un cierto comportamiento estocástico, al no ser dinámicos, no permiten una correcta actualización temporal del estado de los objetos descritos;
3. Modelos económicos: se centran en la especificación de la relación comprador-vendedor desde una perspectiva de costes;

-
4. Modelos de simulación: permiten alcanzar representaciones con un elevado grado de detalle del sistema en estudio. Facilitan considerablemente la toma de decisiones mediante un análisis del tipo «¿qué pasaría si ...?» (Piera and i Eroles, 2006).

“En los sistemas reales de producción hay un elevado grado de dependencia entre las decisiones sobre recursos y sobre materiales (...). La simulación digital consiste en imitar en un ordenador el comportamiento de un sistema bajo ciertas condiciones de operación; la experimentación en estos entornos de simulación digital permite adquirir un mejor conocimiento de las interacciones entre variables de decisión a partir de la observación de los resultados que se obtiene al provocar cambios en los parámetros del modelo.

(...) El modelado mediante simulación es una técnica muy flexible y, en general, de fácil aplicación. Es potente, ya que sus modelos no requieren las simplificaciones asumidas al trabajar únicamente con técnicas analíticas. Obtener información de un modelo de simulación suele ser más fácil que hacerlo del sistema real. En contrapartida, conseguir los datos apropiados sobre el sistema en estudio puede resultar caro o imposible: el sistema de referencia puede simplemente no existir” (Piera and i Eroles, 2006).

2.5.1. Tipos de sistemas.

“Un sistema puede definirse como una colección de objetos o entidades que interactúan entre sí para alcanzar un cierto objetivo (...) pueden clasificarse de la siguiente manera:

1. Sistemas continuos: las variables de estado del sistema evolucionan de modo continuo a lo largo del tiempo; un ejemplo de este tipo de sistemas es la evolución de la temperatura en una habitación durante cualquier intervalo de tiempo, o bien la del nivel del líquido en un tanque
2. Sistemas discretos: se caracterizan en que las propiedades de interés del sistema cambian únicamente en un cierto instante o secuencia de instantes, y permanecen constantes el resto del tiempo. La secuencia de instantes en los cuales el estado del sistema puede presentar un cambio obedece a un patrón periódico
3. Sistemas orientados a eventos discretos: al igual que los sistemas discretos, se caracterizan en que las propiedades de interés del sistema cambian únicamente en una secuencia

de instantes de tiempo y, podemos considerar que permanecen constantes el resto del tiempo. La secuencia de instantes en los cuales el estado del sistema puede presentar un cambio obedece a un patrón aleatorio

4. Sistemas combinados: aquellos que combinan subsistemas cuyas dinámicas responden a características continuas y discretas. Es el caso de los sistemas que poseen componentes que deben ser necesariamente modelados según alguno de dichos enfoques específicos” (Piera, 2004).

2.5.2. Tipos de modelos

La descripción de las características de interés de un sistema se conoce como modelo del sistema, y el proceso de abstracción para obtener esta descripción se conoce como modelado, y estos modelos de simulación suelen clasificarse de diferentes formas:

1. Modelos estáticos: suelen utilizarse para representar el sistema en un cierto instante de tiempo; y en su formulación no se considera el avance del tiempo;
2. Modelos dinámicos: permiten deducir cómo las variables de interés del sistema en estudio evolucionan respecto al tiempo;
3. Modelos deterministas: cuando su nuevo estado puede ser completamente definido a partir del estado previo y de sus entradas; es decir, ofrece un único conjunto de valores de salida para un conjunto de entradas conocidas;
4. Modelos estocásticos: utilizan una o más variables aleatorias para formalizar las dinámicas de interés del sistema; en consecuencia, en la fase de experimentación, el modelo no genera un único conjunto de salida, sino que los resultados generados sirven para obtener estimaciones de las variables que caracterizan el comportamiento real del sistema;
5. Modelos continuos: se caracterizan por representar la evolución de las variables de interés de forma continua; en general suelen utilizarse ecuaciones diferenciales ordinarias, si se considera simplemente la evolución de una propiedad respecto al tiempo, o bien ecuaciones en derivadas parciales si se considera también la evolución respecto al espacio;

6. Modelos discretos: se caracterizan por representar la evolución de las variables de interés de forma discreta (Piera, 2004).

2.5.3. Etapas de un proyecto de simulación.

La tabla 1 muestra las diferentes de etapas de un proyecto de simulación, las mismas que pueden ser interpretativas, analíticas o de desarrollo; estas parecen secuenciales en su desarrollo pero nada más alejado en la práctica, así por ejemplo, si el modelo de simulación obtenido no supera la etapa de validación (etapa 5), es posible que sea necesario modificar tanto el modelo conceptual como el de simulación (Piera and i Eroles, 2006):

Tabla 1

Etapas de un proyecto de simulación

Etapa	Descripción
1. Formulación del problema.	Define el problema a estudiar, incluyendo los objetivos escritos del problema.
2. Diseño del modelo conceptual.	Especificación del modelo a partir de las características de los elementos del sistema a estudiar y sus interacciones teniendo en cuenta los objetivos del problema.
3. Recogida de datos.	Identificar, recoger y analizar los datos necesarios para el estudio.
4. Construcción del modelo.	Construcción del modelos de simulación partiendo del modelo conceptual y de los datos.
5. Verificación y validación.	Comprobar que el modelo se comporta como es de esperar y que existe la correspondencia adecuada entre el sistema real y el modelo.
6. Diseño de experimentos y experimentación.	En función de los objetivos del estudio, desarrollar las estrategias de definición de los escenarios a simular. Experimentar.
7. Análisis de resultados.	Analizar los resultados de la simulación con la finalidad de detectar problemas y recomendar mejoras o soluciones.
8. Documentación.	Proporcionar documentación sobre el trabajo efectuado.
9. Implementación.	Poner en práctica las decisiones efectuadas con el apoyo del estudio de simulación.

Nota: Extraído de “Como mejorar la logística de su empresa mediante simulación” de Piera and i Eroles (2006),p. 19..

2.5.4. Simulación en Flexsim.

“El software FlexSim fue desarrollado por Bill Nordgren, Cliff King, Roger Hullinger, Eamonn Lavery y Anthony Johnson, el cual permite modelar y entender con precisión los problemas básicos de un sistema sin la necesidad de programaciones complicadas, esto debido a que ofrece una forma sencilla al desarrollar el modelo de simulación. (...) Flexsim ha contribuido con aplicaciones de clase mundial en temas de medicina, salud, sistemas de logística tales como operaciones de contenedores en puertos, simulaciones distribuidas en varios equipos dentro de una empresa manufacturera, en la minería, en centros aeroespaciales e incluso se ha adaptado a la industria del servicio (hoteles, hospitales, supermercados, o muchas otras industrias) para simular la administración y operación de los recursos humanos” (Díaz Martínez Marco Antonio Zárate Cruz, 2018).

3. CAPITULO 3: METODOLOGÍA

3.1. Programación de la producción actual

La empresa Vanderbilt desarrolla mensualmente el proceso de “Planeación de Ventas y Operaciones” (S&OP, por sus siglas en inglés) desde el año 2020. Uno de los productos de este proceso es el “Plan maestro de producción” (PMP) que incluye los segmentos de: reposición o mercado nacional, Equipo Original y Exportación, siendo este la entrada para la planta de producción. El proceso de elaboración del PMP mensual tiene las siguientes etapas:

1. Pronóstico de las ventas con un mes en firme y una proyección de 2 meses adicionales por cada SKU que elabora y comercializa la empresa, utilizando varios métodos como: media, suavizamiento exponencial triple, regresión lineal, Holt, Holt-Winters y método Brown.
2. Elección del mejor método de pronóstico para SKU, comparando la venta real del periodo anterior y el valor pronosticado por cada método.
3. Definición por parte de la Gerencia General del nivel de inventario que se quiere mantener. Para el segmento de reposición o mercado nacional se clasifican los SKUs en: AA, A, B, C, según la demanda y la contribución económica, siendo los productos AA y A los que se protegen con hasta 2 meses de inventario.
4. Para el segmento de Exportación se incluyen en el PMP mensual únicamente el pedido que realiza el cliente.
5. Para el segmento Equipo Original se incluye el pronóstico y las proyecciones que el cliente desarrolla.
6. Este Plan Maestro de Producción (PMP) es enviado al área comercial para su revisión y corrección de ser el caso, y una vez listo es enviado al área productiva para que sea analizado.

Tabla 2

Etapas del proceso de S&OP.

PROCESO	MES	ESTADO
Descargar información de ventas	abril-2021	OK
Generación de indicadores	abril-2021	OK
Generación de Forecast Matemático	abril-2021	OK
Entrega de información para CC	abril-2021	OK
Entrega de CC a Planeación	abril-2021	OK
Elaboración del PMP	abril-2021	OK
Elaboración del CRP	abril-2021	OK
Elaboración de MRP (hasta explosión BOM)	abril-2021	NO
Generación de información para rutina Pre-S&OP	abril-2021	OK
Rutina Pre-S&OP	abril-2021	OK
Envío información para Proyección Financiera	abril-2021	OK
Rutina S&OP	abril-2021	OK
Envío actas	abril-2021	OK

Nota: Información recolectada de actas de reuniones mensuales de S&OP. CRP = Capacity requirements planning, MR = Material Requirements Planning, BOM = bill of materials. Fuente: el Autor.

Los datos fueron recolectados de los archivos de los PMPs mensuales que han sido generados desde enero de 2020 cuando fue implementado este proceso. Los datos proyectados en la figura 2 siguiente son desde el mes de enero del 2020, que es cuando el proceso S&OP tomó estabilidad y que por parte de Gerencia General tomó validez su análisis. Se puede observar que existe una caída de toneladas demandadas a la planta de producción en los meses de abril, mayo y junio del año 2020 esto debido a la pandemia por Covid-19 que azotó al mundo entero y su posterior confinamiento de la población total y parcial. Posterior a estos meses se puede ver que se recupera su nivel de demanda normal hasta que disminuye significativamente en un 25 % aproximadamente en diciembre de 2020, esto es debido a dos

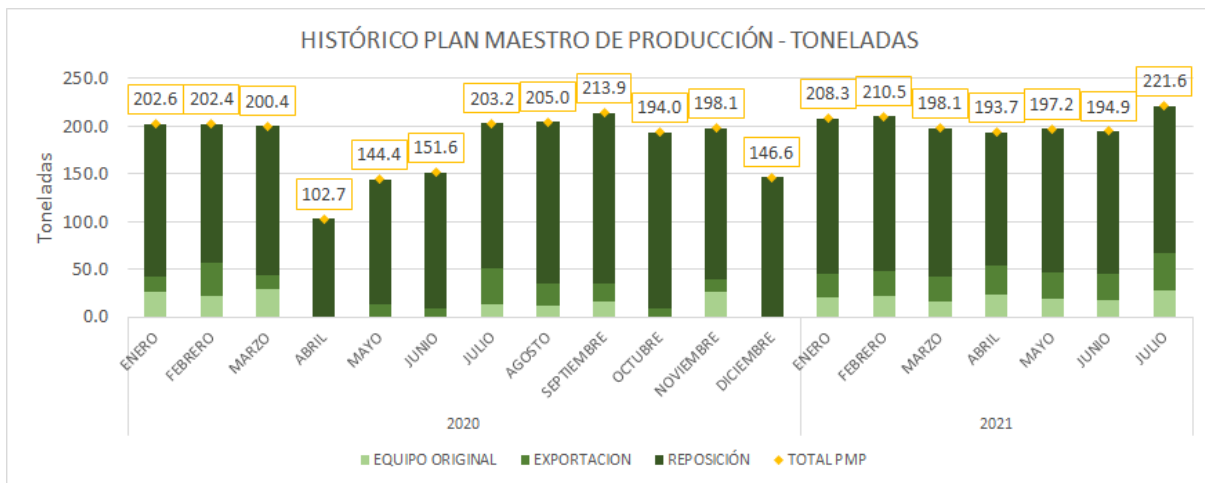
factores principalmente:

- Las ensambladoras de automóviles, que son los usuarios finales del segmento de Equipo Original suspenden sus operaciones por fin de año;
- Suspensión de las solicitudes de exportaciones.

En enero del 2021 se recupera su demanda y se mantiene por 6 meses siendo este entre 194 y 221 toneladas.

Figura 2

Histórico Plan Maestro de Producción.



Nota: Datos recolectados desde enero 2020 a julio 2021. Fuente: el autor.

Otro de los productos generados por el proceso de S&OP es el “Plan de Requerimiento de Capacidad” (CRP, por sus siglas en inglés), que toma el Plan maestro de producción como entrada y consta de las siguientes etapas:

1. Cálculo de la capacidad demandada en cada proceso según el PMP del período correspondiente.
2. Formación de equipos de trabajo y definición de horarios laborales.
3. Construcción de escenarios de niveles de cumplimiento del PMP: optimista, compromiso y pesimista, de acuerdo a la productividad histórica de los procesos productivos.

4. Presentación de los escenarios y aprobación.
5. En caso de que el PMP sobrepase con la capacidad de la planta de producción, se ajusta el PMP de acuerdo a la capacidad de la planta mostrada en los escenarios construidos.

Figura 3

Escenarios de cumplimiento del PMP.

CAPACIDAD UTILIZADA HORAS-HOMBRE							
TONELADAS REQUERIDAS		194					
		ESCENARIO OPTIMISTA		ESCENARIO COMPROMISO		ESCENARIO PESIMISTA	
	OPER.	%	TON. POS	%	TON. POS	%	TON. POS
CONFORMADO 1	8	95%	204	103%	189	119%	163
CONFORMADO 2	9	94%	205	103%	188	122%	159
FORMACION Y TEMPLE	14	94%	207	97%	199	104%	186
REVENIDO	2	88%	222	93%	210	118%	164
ACABADOS	7	96%	203	103%	189	113%	172
		92%	203	99%	188	112%	159

Nota: Los escenarios están en función de los datos históricos del rendimiento productivo y disponibilidad de los equipos de cada proceso. Fuente: el autor.

Para proceder con el inicio de la fabricación del PMP mensual, en la planta productiva se elabora “Pareto de la Materia Prima Principal”. Esta materia prima comprende más de 70 tipos de platinas de acero de diferente espesor y ancho, generalmente de 6 metros de largo, y del cual se procede a cortar las diferentes productos u hojas, combinando entre unidades de diferente largo para disminuir el desperdicio y que serán procesadas hasta tener una hoja de resorte de suspensión terminada. La idea de este Pareto es comenzar a procesar por el tipo de platina de acero cuya demanda sea el de mayor peso, y dejar para el final las de menor peso demandado. La figura 4 a continuación es un ejemplo del Pareto de Platinas de Acero y se puede observar que el del tipo 70 x 11, que es el de mayor demanda, se requiere 33.7 toneladas, 18 % del total solicitado y es por el cual se comenzará a cortar (primer proceso).

Figura 4

Priorización de Materia Prima a cortar.

ACERO	REQ. ACERO	%
070 X 11	33763.0	18%
090 X 12	18801.6	28%
060 X 07	13930.9	36%
080 X 13	11329.7	42%
090 X 20	9724.5	47%
060 X 08	9680.9	52%
060 X 09	8142.1	57%
070 X 09	7980.8	61%
060 X 06	6818.3	65%
080 X 16	6300.0	68%
101 X 19	5879.9	71%
101 X 14	5324.7	74%
070 X 10	4945.9	77%
090 X 25	3760.0	79%
070 X 07	3614.4	81%
080 X 25	3296.2	83%

Nota: El método actual considera cortar en el orden mostrado sin considerar las necesidades comerciales. Fuente: el autor.

Esta práctica es conveniente para la planta productiva pero no necesariamente para ventas o toda la empresa, pues en ocasiones muchos productos no llegan a ser producidos ya que en el Pareto no llegan a estar dentro del 20 % de platinas de acero que generan el 80 % de la producción. Adicionalmente, el orden en que los productos son cortados para iniciar su proceso genera roturas de stock de productos terminados por no ser lo que el mercado requiere en ese momento, así como la creación de pedidos urgentes por parte del área comercial que deben ser gestionados de manera urgente.

Una vez que los diferentes productos u hojas de resorte cortadas comienzan su proceso de fabricación a través de los diferentes centros de trabajo, estos son priorizados semanalmente mediante una programación en uno de los procesos más críticos tanto en el ámbito productivo como de control de calidad, mas no necesariamente porque sea el “La restricción de sistema”. Este proceso, llamado “Formación y Temple”, es uno por donde pasan todas las hojas producidas y en donde se controla las propiedades requeridas de arco y dureza que adquieren cada una de ellas luego de este tratamiento productivo. Cabe recalcar que no todas las

hojas que se cortan de acuerdo al orden dado por el Pareto mencionado anteriormente son programadas en este proceso y muy comúnmente esperan a ser procesadas en algún centro de trabajo hasta ser priorizadas.

Figura 5

Priorización de prensas.

PRENSA	ORDEN DE TRABAJO	CÓDIGO DE PRODUCTO	LOTE	TIPO	CANT. HOJA	MATERIAL
3	VDOP-101249	240411G-04	21070114	EO	46	60 X 14
3	VDOP-101242	240411G-05	21070114	EO	253	60 X 14
3	VDOP-101326	235822M-01	21070144	A	21	60 X 08
3	VDOP-101320	235822M-02	21070142	A	19	60 X 08
3	VDOP-101321	235822M-03	21070142	A	18	60 X 08
5	VDOP-101170	240404V-03	21061101	AA	181	70 X 09
5	VDOP-101239	240228V-01	21070116	AA	57	70 X 09
5	VDOP-101325	231015V-01	21070143	C	37	70 X 09
5	VDOP-101333	821919V-01	21070148	AA	107	44 X 06
5	VDOP-101334	821919V-02	21070148	AA	143	44 X 06
2	VDOP-101222	441238V-01	21070111	A	31	70 X 11
2	VDOP-101223	441238V-02	21070111	A	38	70 X 11
2	VDOP-101224	441238V-03	21070111	A	38	70 X 11
2	VDOP-101298	440631V-01	21070136	AA	48	101 X 19
2	VDOP-101299	440631V-02	21070136	AA	140	101 X 19
1	VDOP-101276	447730V-06	21070126	AA	84	70 X 12
1	VDOP-101277	447730V-07	21070126	AA	180	70 X 12
1	VDOP-101278	447730V-08	21070126	AA	132	70 X 12
1	VDOP-101271	447730V-01	21070126	AA	181	70 X 12
1	VDOP-101472	430611P-01	21070203	EXP	22	80 X 25
1	VDOP-101473	430611P-02	21070203	EXP	20	80 X 25

CANTIDAD 9491.0 UNIDADES
PROYECTAD 52302.5 KG

CUMPLIMIENTO PRENSAS

Prensa 1 ● 91.7%

Prensa 2 ● 91.7%

Prensa 3 ● 91.5%

Prensa 5 ● 96.2%

Nota: Ejemplo detallado por prensas. Fuente: el autor.

Esta tarea de priorizar semanalmente el proceso de “Formación y Temple” se hace con 6 días de anticipación y se genera un documento que es enviado al área comercial para su información y a su vez se retro alimenta sobre alguna celeridad adicional que se le deba dar a algún producto que está programado procesar. En ocasiones esta urgencia de parte del área comercial es por rotura de stock de producto terminado o con incumplimiento de fechas de entrega prometidas a los clientes, generando una re-programación y cambio de tareas a lo largo de todos los centros de trabajo incluido el proceso programado semanalmente.

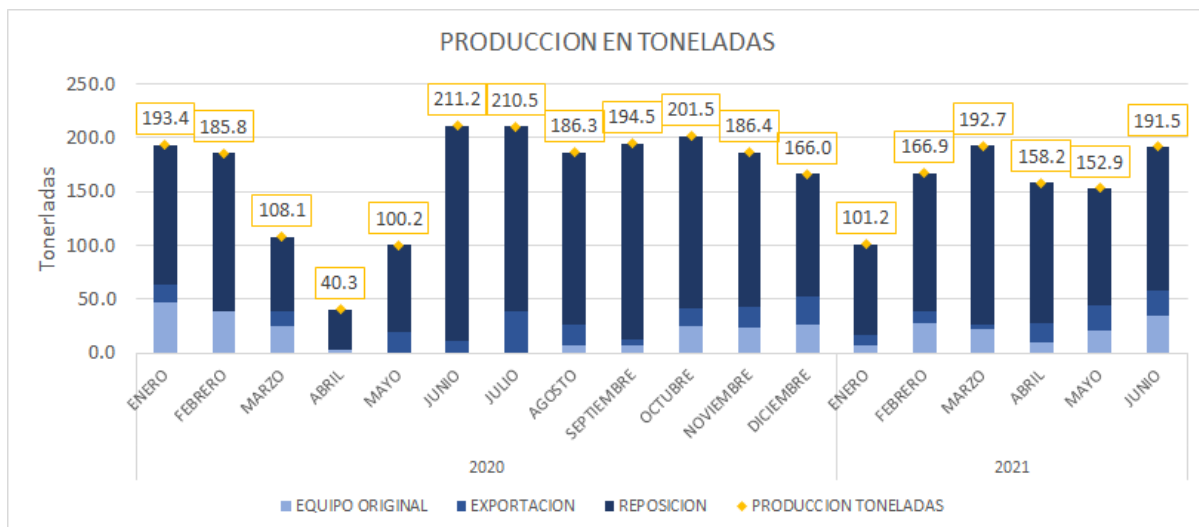
3.2. Cumplimiento del método actual de programación de la producción

La producción alcanzada por la planta, contabilizada en toneladas principalmente, es monitoreada cuando el producto ingresa a la “Bodega de Producto Terminado”. El nivel o tonelaje que se alcanza al mes depende de varios factores como Horas-Hombre y Horas-Máquina disponible al mes, disponibilidad de materia prima y complementos, pero sobre todo dependen del mix de productos demandados y la cantidad de cada producto demandado. En la empresa existen aproximadamente 2200 productos de los cuales aproximadamente entre 500 y 700 son demandados y producidos al mes. Mientras menor es el número de tipos de productos a producir, mayor es la cantidad en unidades de cada uno de ellos, por lo tanto menor el número de Set-Up a realizar y obviamente mayor disponibilidad de equipos.

La información para generar la siguiente figura 6 fue obtenida a través de los reportes diarios de ingreso de producto terminado a la bodega de la planta. Los datos fueron tratados y tabulados desde el mes de enero del 2020, mismo periodo que el análisis del PMP mensual.

Figura 6

Producción en toneladas.



Nota: Fuente: el autor.

En esta figura 6 se puede diferenciar claramente que, en los meses de marzo, abril y mayo

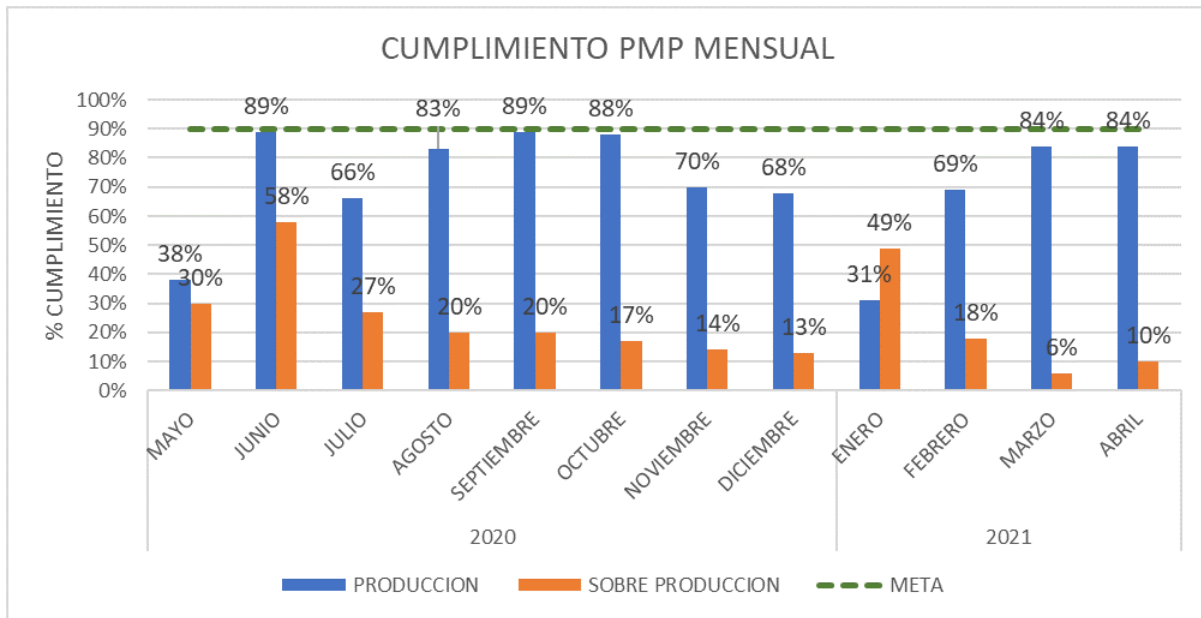
del 2020, hubo una caída de la producción, esto debido a la pandemia global causada por el Covid 19 y el posterior confinamiento de la población que inicialmente fue total y luego parcial para sectores considerados estratégicos.

Vanderbilt al ser considerado como uno de ellos, presentó una caída drástica luego en enero del 2021 principalmente por el atraso del arribo de las importaciones de materia prima generada por la escasez de buques de carga. Cabe recalcar que en los meses de abril y mayo del 2021 se vuelve al confinamiento parcial de la población con la imposibilidad de laborar los fines de semana tal como se puede ver en la la figura 6 en cantidad producida en dichos meses.

Con este proceso el cumplimiento del PMP no ha sido de manera constante ni satisfactoria, pero lo que más se destaca es la sobreproducción generada por pedidos puntuales solicitados por el área comercial y por producción atrasada de meses anteriores al mes en análisis. En la figura 7 podemos notar que desde mayo del 2020 el cumplimiento de lo solicitado tiene un aumento importante hasta llegar a un pico de 89 % en el mes de septiembre del mismo año, para luego caer en diciembre del 2020 hasta a un 31 % del cumplimiento y con un aumento importante en la sobre producción llegando al 49 %. Esto fue debido a lo mencionado anteriormente, donde las materias primas tuvieron retraso de meses en su arribo y priorizo ventas comprometidas, clientes importantes y pedidos puntuales. Luego en los meses de marzo y abril del 2021 mejora hasta llegar a un 84 %, pero aún por debajo de la meta del 90 % exigido por parte de Gerencia.

Figura

Cumplimiento PMP mensual.

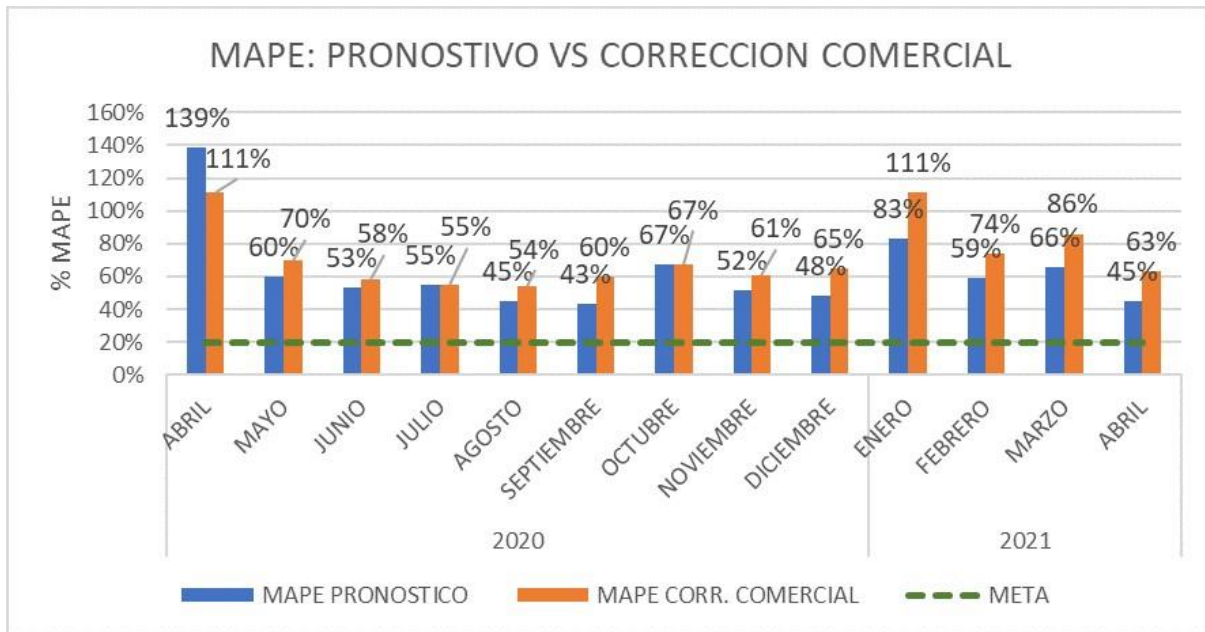


Nota: Información recolectada de actas mensuales tras reunión de S&OP. Fuente: el autor.

Un indicador analizado es el Error Porcentual Absoluto Medio (MAPE, por sus siglas en inglés) de las ventas reales vs el método de pronóstico utilizado, y de las ventas reales vs la corrección comercial. El objetivo a alcanzar en el MAPE es dado por la Gerencia siendo este un máximo del 20 %, pero como se puede ver en la figura 8 no se ha alcanzado en ninguno de los meses analizados, tanto para el método de pronóstico como para la corrección comercial. Se puede notar que en abril del 2020 hay un MAPE muy alto debido al confinamiento sufrido por el covid-19, hasta estabilizarse en meses siguientes en unos niveles por encima del 43 % y debajo del 67 %, muy por encima de la meta del 20 %. Adicionalmente, se puede notar que en enero del 2021 aumenta de manera importante este indicador como consecuencia del atraso de las materias primas para su producción en diciembre provocando su desabastecimiento y el efecto en el mes siguiente.

Figura

MAPE: Pronóstico vs Corrección Comercial.

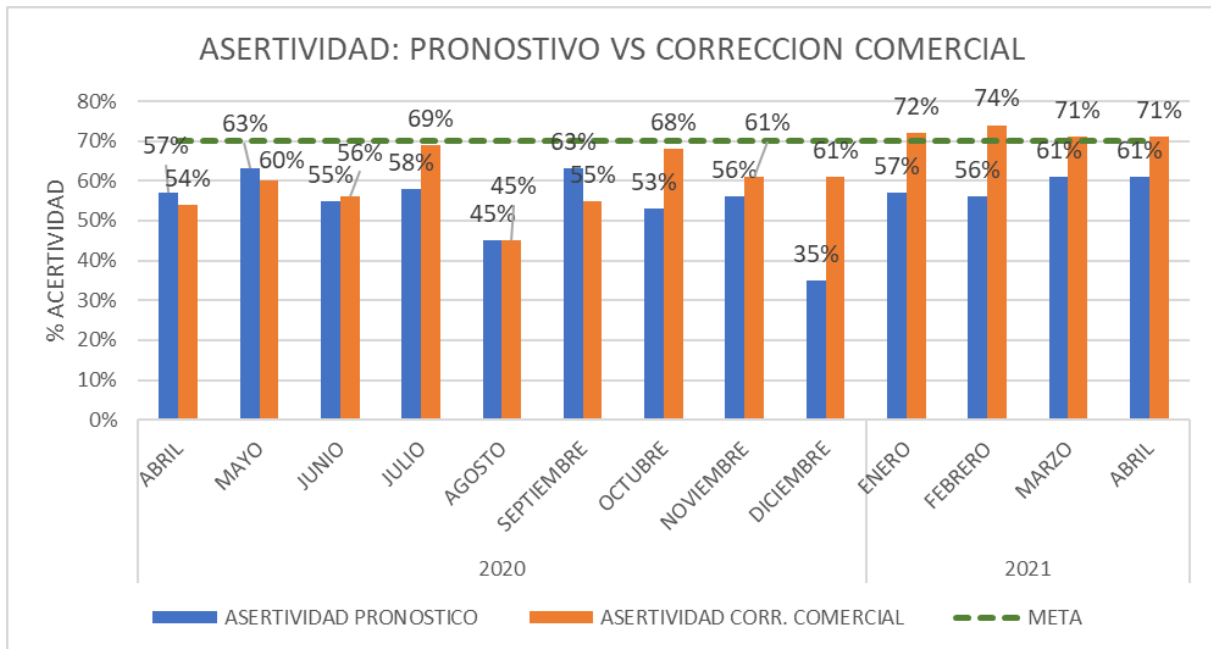


Nota: Información recolectada de actas mensuales tras reunión de S&OP. Fuente: el autor.

Otro parámetro analizado es la “asertividad” donde el objetivo a alcanzar es por lo menos del 70 %. Con el método de pronóstico ha alcanzado como máximo el 61 % en los meses de marzo y abril del año 2021. Con la corrección comercial se evidencia una mejor asertividad en comparación con los pronósticos y desde enero del 2021 ha superado el objetivo mínimo. Esto demuestra que, para el caso de Vanderbilt, los métodos de pronósticos son más inexactos que la experiencia de los vendedores de la empresa.

Figura

Asertividad: Pronósticos vs Corrección Comercial.



Nota: Información recolectada de actas mensuales tras reunión de S&OP. Fuente: el autor.

3.3. Determinación de los procesos con capacidad limitada

La planta productiva de la empresa Vanderbilt cuenta con 16 centros de trabajo, pero no todos los productos fabricados pasan por la totalidad de estos centros, por tal razón, las hojas son cortadas, perforadas al menos una vez, tratadas térmicamente, limpiadas y pintadas, esto dependerá que tipo de hoja sea (primera, segunda, tercer, etc) y del modelo para que sean procesadas por los demás centros de trabajo. Por ejemplo, una hoja primera, además de los procesos mencionados anteriormente, tendrá que ser procesada por “Formación de ojos” en donde en cada extremo de la hoja se doblará hasta formar un ojo de un diámetro específico, en algunos casos los ojos de la hoja primera ya formados tendrán que ser mecanizados en la estación de fresado en frío para reducir el ancho del ojo de acuerdo con la especificación del producto.

En la siguiente figura 10 se describe la ruta de procesos que deben seguir cada una del tipo de hojas para la suspensión delantera de un camión HINO, claramente se observa de

color verde por qué centro de trabajo pasa cada una del tipo de hojas.

Figura 10

Ejemplo de Rutas de hojas de resorte para HINO FB M/2002 Delantero.

		ESTACIONES DE TRABAJO																
		CORTE	PERFORADO	DIAMANTADO	LAMINADO	FORIA DE TAZAS / GRAPAS	AVELLANADO	FRESADO EN CALIENTE	FORMACIÓN DE OJOS MANUALES	FORMACIÓN DE OJOS AUTOMÁTICA	DOBLEZ DE EXTREMOS	FRESADO EN FRIO	LIMADO	FORMACIÓN Y TEMPLE	REVENIDO	GRANALLADO	PINTURA Y ROTULADO	ENSAMBLE DE BUJES
CÓDIGO	440224V-01	■	■				■	■			■		■	■	■	■	■	■
	440224V-02	■	■	■				■	■				■	■	■	■	■	
	440224V-03	■	■	■									■	■	■	■	■	
	440224V-04	■	■										■	■	■	■	■	
	440224V-05	■	■				■						■	■	■	■	■	
	440224V-06	■	■										■	■	■	■	■	
	440224V-07	■	■										■	■	■	■	■	

Nota: Información tomada de el sistema ERP de la Empresa. Fuente: el autor.

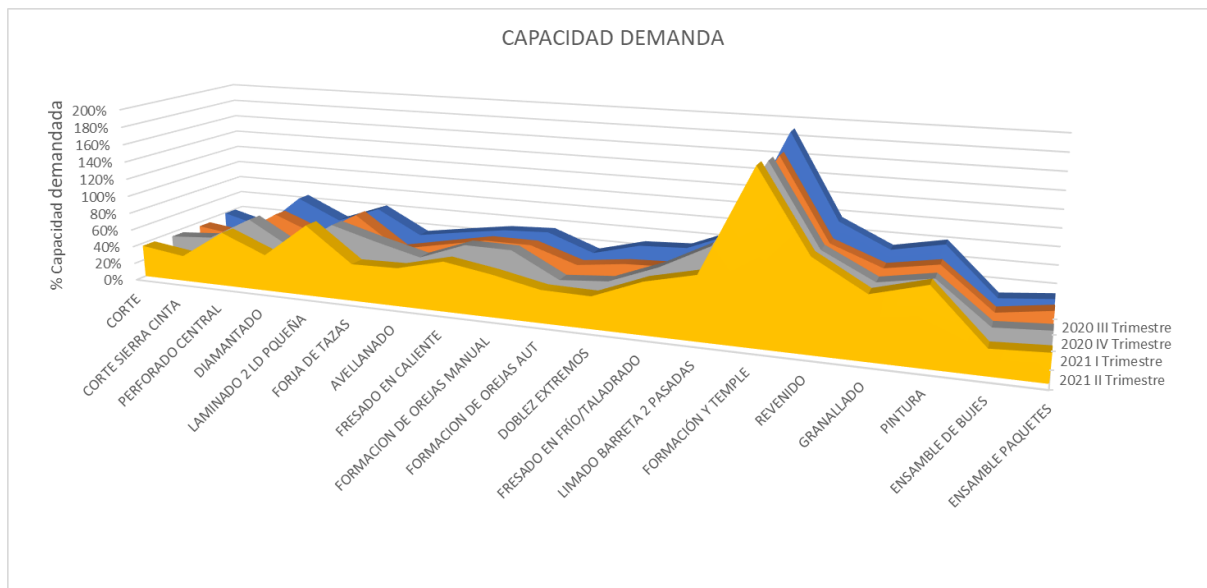
La información de las rutas de proceso de cada uno de los ítems producidos en la planta productiva es gestionada por la persona encargada de la Asistencia de Ingeniería quien es el que define donde y como procesar para cumplir con las especificaciones técnicas del producto.

Las rutas de los productos están cargadas en el sistema ERP de la empresa y junto con el Plan Maestro de Producción (PMP) mensual que es enviado por parte del área de planeación podemos obtener las horas-máquina necesarias en cada centro de trabajo para procesar el Plan Maestro de Producción (PMP) de cada producto u hoja, esto es posible gracias a que en la planta de producción cada proceso tiene definido el tiempo estándar de procesamiento segmentado en función del espesor del material, que define por cada recurso o equipo que se emplea en los diferentes centros de trabajo y, en algunos centros de trabajo específicos, permitiendo obtener el porcentaje de capacidad demanda o, dicho de otra manera, la ocupación de cada centro de trabajo para cumplir el PMP mensual, definido por una jornada laboral de 10 horas durante 25 días al mes. En la siguiente figura 11 se representa la

capacidad demanda desde julio del 2020 hasta junio del 2021 por cada trimestre, y claramente se observa que el proceso con capacidad limitada es el de “Formación y Temple”, en donde se ha llegado hasta por encima del 180 % de su ocupación como se observa en el tercer trimestre del año 2020.

Figura 11

Capacidad Demandada



Nota: Expresado por estaciones de trabajo. Fuente: el autor.

La información obtenida para determinar esta capacidad demanda se obtuvieron de los registros de los Planes de Requerimiento de Capacidad (CRP, por sus siglas en inglés) que se ejecutan para analizar el Plan Maestro de Producción (PMP) enviado por el área de Planeación.

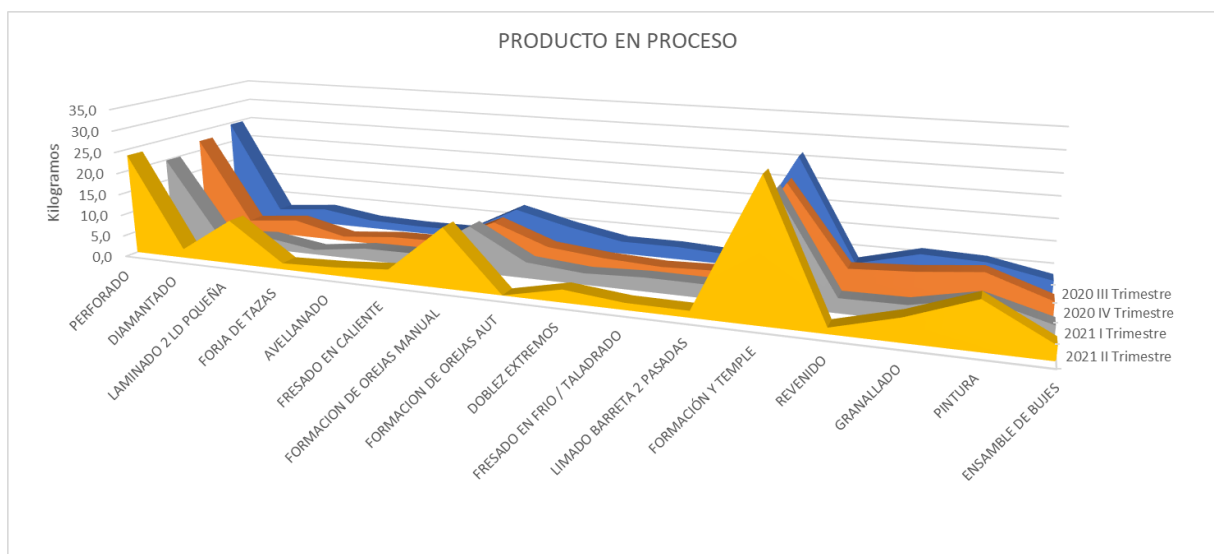
Esta forma casi matemática de calcular el proceso con capacidad limitada es cuestionada por Goldratt (2010) en su libro “La Meta”, por la fiabilidad y exactitud que se debe tener en los datos y que un simple error puede llegar a una errada determinación de la “Restricción del Sistema”. Ante esto, Goldratt propone otro método más simple y lógico que tiene que ver con la simple observación del producto en proceso que hay en los diferentes centros de trabajo esperando a ser procesados en la planta productiva y en donde exista mayor cantidad

de esto, podrá ser considerado como procesos con capacidad limitada.

En la figura 12 a continuación, se representa el producto en proceso promedio en cada centro de trabajo por trimestres desde julio del 2020 hasta junio del 2021, evidenciando mayor acumulación de producto procesado en 2 estaciones de trabajo siendo estos “Tratamientos Térmicos” y “Perforado”.

Figura 12

Producto en Proceso



Nota: Expresado por estaciones de trabajo. Fuente: el autor.

Si bien podemos notar que en el proceso de tratamientos térmicos acumulan la mayor cantidad de producto en proceso, en perforado es ligeramente menor. Esto es debido que al momento de recolectar estos datos la planta de producción estaba operativa en donde el proceso de Perforado laboraba 1 turno al día de 10 horas y 25 días al mes, mientras que Tratamientos térmicos laboraba 2 turnos al día de 12 horas y 25 días al mes. A pesar de estas medidas tomadas por parte de producción de planta, no se levantaba aún la restricción en el proceso de Tratamientos Térmicos y todo el producto en proceso de Perforado esperaba ser priorizado en la planificación semanal tal como se mencionó anteriormente para proceder con los demás procesos.

De esta manera, tanto por la forma de cálculo a partir de datos de capacidades como por

el método de observación de producto en proceso, se puede determinar que la restricción física es Tratamientos Térmicos, y es al cual se debe programar de manera minuciosa sus tareas, subordinar los demás procesos a éste y, a través del algoritmo Tambor-Cuerda-Amortiguador (DBR, por sus siglas en inglés), programar el ingreso de productos a fabricar.

3.4. Explotación de la restricción

Una vez determinado la restricción del sistema se procede a explotar la misma, para lo cual se define los puntos críticos:

1. Definir horarios de trabajo en el recurso con capacidad limitada (CCR).
2. Definir un cronograma detallado.

Para el primer numeral, el proceso de Formación y Temple consta de 4 prensas activas, laborando a doble turno de lunes a viernes y los sábados a un turno. Esta configuración ofrece hasta 2640 horas-máquina a la semana, en la cual se puede alcanzar una producción de entre 45 y 55 toneladas en este mismo periodo de tiempo, cuya variación está sujeta al peso de cada producto procesado y la cantidad de puestas a punto (Set-up) que se deban realizar en cada prensa.

Para el segundo numeral, el cronograma detallado al cual debe estar sujeto el proceso de Formación y Temple, está definido en función de lo que se consume de productos terminados existiendo aquí un cambio drástico al método actual. Para esta reposición activada por el mercado en primer lugar, se construye el Buffer o “nivel objetivo” de inventario en el sistema como lo menciona Schragenheim et al. (2009).

Figura 13

Nivel objetivo ejemplo camión HINO

COD PRODUCTO	HISTÓRICO DE VENTAS													TIEMPO DE REPOSICION (MES) =		0,75		
	2020	2020	2020	2020	2020	2021	2021	2021	2021	2021	2021	2021	2021	2021	2021	2021	2021	2021
	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	PROMEDIO VENTAS	DEMANDA PARANOICA	NIVEL OBJETIVO		
447730V-01	318	271	266	313	319	203	183	269	264	377	211	241	201	265	42%	354		
447730V-02	104	85	98	124	143	75	78	120	115	125	108	154	56	107	44%	145		
447730V-03	132	156	55	157	53	69	70	114	102	113	100	113	103	103	52%	148		
447730V-04	175	141	117	140	95	103	132	133	172	102	141	115	159	133	32%	165		
447730V-05	259	246	268	257	244	131	157	251	202	306	286	258	265	241	27%	287		
447730V-06	142	172	151	176	101	61	175	137	166	127	165	163	136	144	22%	165		
447730V-07	131	84	39	173	49	3	128	109	110	151	93	100	106	99	75%	163		
447730V-08	58	73	65	89	57	46	67	62	94	122	50	83	48	71	72%	115		
447730V-09	29	55	35	41	68	22	46	53	58	61	29	56	38	46	48%	64		
447730V-10	8	0	10	16	14	4	16	12	12	28	6	55	46	18	206%	52		

Nota: Escalera perteneciente al juego de la ballesta. Fuente: el autor.

La figura 13 es un ejemplo del cálculo del nivel objetivo para hojas de resorte de un camión HINO, para el cual se definió como “tiempo de reposición” igual a 3 semanas (0.75 mes), siendo este ya un estándar manejado en la planta de producción, considerando dos semanas desde que se libera la orden de producción hasta que está lista para ser procesada por Formación y Temple (restricción) y una semana adicional hasta que está disponible en bodega de producto terminado. El “factor de seguridad” igual a 25 % fue considerado en función de posibles eventualidades que se puedan presentar a nivel de planta y la “demanda paranoica” como factor que cubre picos de ventas igual al excedente entre el promedio de la demanda y la venta más alta en el periodo de análisis dividido para el promedio.

Una vez que el nivel objetivo está definido y operativo, los pedidos de reposición se inician, según Schragenheim et al. (2009), en función del consumo del día anterior, o cuando el nivel objetivo llegue a zona amarillo tal como menciona Goldratt et al. (2010). Para la planta Vanderbilt, lanzar órdenes a planta de acuerdo al primer caso, ocasiona que se dedique mucho tiempo a Set-up o alistamientos de máquina, perdiendo capacidad productiva no solo en la restricción, sino en otros procesos con capacidad limitada. Por consiguiente, la liberación de órdenes de producción se generará semanalmente en donde se analizará el nivel del inventario objetivo (nivel de buffer de producto terminado) considerando las ordenes en proceso y la cantidad de lote mínimo. Este lote mínimo es ya definido por el área comercial en función de la cantidad vendida mensualmente y la contribución o utilidad económica que genera, y no

forma parte del nivel objetivo de inventario.

A continuación, en la tabla 14 se muestra un ejemplo de la liberación de ordenes de producción tomando en cuenta los aspectos mencionados anteriormente

Figura 14

Liberación de ordenes de producción

COD PRODUCTO	NIVEL OBJETIVO	STOCK BODEGA	LOTE MINIMO	BUFFER PT	WIP	STOCK EN EL SISTEMA	BUFFER SISTEMA	ORDEN PRODUCCION	PENETR. DEL AMORT.
447730V-01	354	108	60	31%	50	158	45%	196	55%
447730V-02	145	127	60	88%	50	177	122%	0	0%
447730V-03	148	48	60	32%	50	98	66%	60	34%
447730V-04	165	81	60	49%	50	131	79%	60	21%
447730V-05	287	95	60	33%	50	145	51%	142	49%
447730V-06	165	14	60	8%	50	64	39%	101	61%
447730V-07	163	88	35	54%	50	138	85%	35	15%
447730V-08	115	45	35	39%	50	95	83%	35	17%
447730V-09	64	15	35	23%	50	65	102%	0	0%
447730V-10	52	111	35	213%	50	161	310%	0	0%

Nota: “PENETR. DEL ARMORT.” representa el inventario que aun no ha completado su fabricación. Fuente: Schragenheim et al. (2009).

Con la información obtenidas del ejercicio anterior, se programa el proceso de formación y temple definida como la restricción hasta completar la carga planeada, manteniendo de esta manera la liberación de órdenes bajo control. Las ordenes que no fueron programadas en la semana presente se programan para la semana siguiente con la respectiva actualización de la cantidad a reponer según su consumo adicional en este periodo de tiempo.

El estado del Amortiguador se define como “PENETRACIÓN DEL AMORTIGUADOR” descrito en la tabla 14 que sirve como información para dar prioridad sobre las demás ordenes en proceso.

La figura 5 donde se ejemplifica la priorización de prensas no varía, solo cambia el método donde antes se programa lo que esta ya en proceso, y ahora se programa lo que necesitamos reponer de producto terminado luego de una venta, para proceder a cortar o liberar las órdenes de producción.

3.5. Subordinar todo a la restricción.

Para subordinar los demás procesos a la restricción, se elabora un cronograma de liberación del material a piso de producción que garantiza que no se entregue a planta trabajo que no

es necesario o que no conste en el programa detallado de la restricción, siendo el proceso de Corte el que libera o ingresa trabajo a los demás procesos productivos de la fábrica Vanderbilt por lo que este tiene su cronograma de corte. A diferencia del método anterior, donde el proceso de corte se lo realizaba priorizando la familia de acero que tenía más peso según Pareto de Materia Prima, este método propone un cronograma de corte de acuerdo a lo que se requiere reponer de producto terminado para alcanzar el Nivel objetivo de inventario de producto terminado, explicado en el punto 3.4, y en función de la capacidad de la restricción del sistema.

Figura 15

Cronograma de corte de materia prima (Acero) para una semana.

	MATERIAL A CORTAR	PRENSA	TON PMP	OBSERVACION	Ini	Fin	Días	AGOSTO												
								1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	90 X 12	1	5,50	MIX # 12	1	1	1													
2	101 X 12	1	2,98	MIX # 13	1	1	1													
3	60 X 08	2	5,68	MIX # 14	2	2	1													
4	80 x 12	2	4,46	MIX # 15	2	3	2													
5	101 X 19	3	0,38	MIX # 16	3	3	1													
6	101 X 12	3	4,00	MIX # 17	3	3	1													
7	80 x 13	3	10,20	MIX # 18	4	5	2													
8	90 X 12	1	7,60	MIX # 19	7	8	2													
9	90 X 14	2	7,90	MIX # 20	8	9	2													
10	90 X 11	2	1,10	MIX # 21	9	9	1													
11	60 X 07	3	2,21	MIX # 22	9	9	1													
12	60 X 06	3	3,20	MIX # 23	9	9	1													

Nota: De color azul se representa el avance del cumplimiento. Fuente: el autor.

En la figura 15 se observa que los productos programados en la restricción, que son del mismo tipo de materia, (por ejemplo 90 x 12), se agrupan para formar un mix de corte (mix #12), y así dar paso a la programación de corte, que es el primer proceso productivo y que libera trabajo para los demás procesos, el cual se definió con 2 semanas de anticipación al proceso de Formación y Temple, siendo este tiempo, como menciona Goldratt et al. (2010),

suficiente para liberar los materiales antes de que la restricción lo requiera, proporcionando así tiempo suficiente para que los demás procesos productivos ejecuten su trabajo respectivo. Además, el mismo autor recomienda asignar este tiempo para liberar las órdenes de producción que es igual a un medio del tiempo de entrega total, en comparación al proceso de S&OP que se planificaba para un mes, es decir, el tiempo para iniciar el proceso de corte es igual a 2 semanas antes que el la restricción lo requiera.

3.6. Construcción del modelo de simulación

3.6.1. Formulación del problema

Previo a la construcción del modelo de simulación se define los objetivos de simulación:

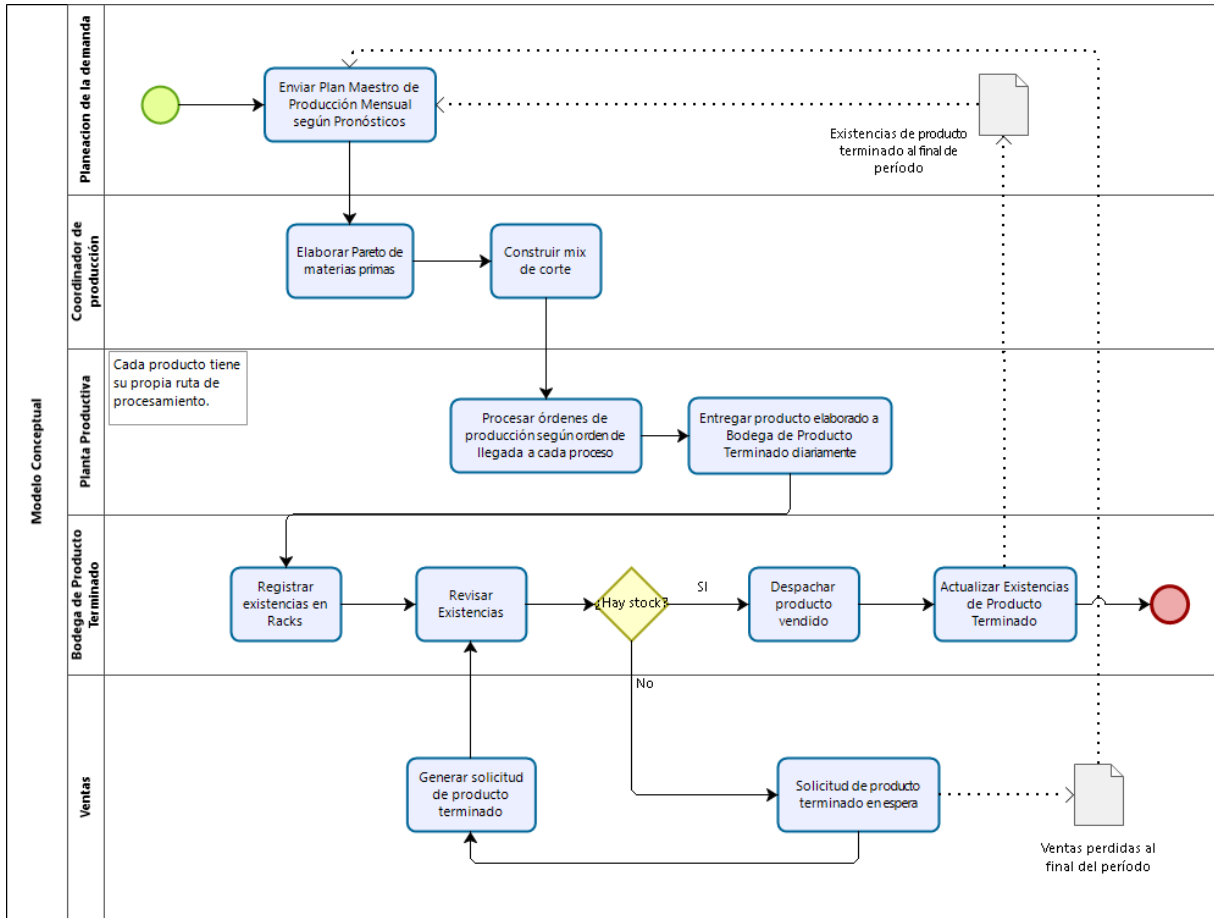
1. Construir el modelo productivo de la Planta productiva de la empresa en estudio,
2. Simular la situación actual de programación de la producción,
3. Simular el método de programación propuesta y analizar los resultados.

Además, se simulará el Plan Maestro de producción y la situación propuesta de reposición activada por el mercado para un periodo de tiempo referente a 70 días.

3.6.2. Diseño del modelo conceptual

Figura 16

Modelo Conceptual.



Nota: Se ilustra con los departamentos o áreas que se involucran. Fuente: el autor.

3.6.3. Recolección de datos

Los datos más importantes que se necesitan para comenzar a construir el modelo son las rutas de procesos de cada código y sus tiempos de procesamiento. Los primeros se obtienen de manera fácil ya que se encuentran cargados al sistema ERP de la empresa y se descarga en una hoja electrónica a manera de base de datos, donde a su vez, obtenemos los tiempos estándar de cada producto por cada proceso. Esta información, que fue cargada al sistema ERP de la empresa fue trabajada, analizada y validada por la jefatura de planta donde se

consideró las siguientes características:

- Los tiempos de procesamiento están en función del proceso respectivo y del ancho del producto: Delgado, Grueso, Extra grueso y Extra+Extra Grueso. Esto para los procesos de conformado donde cada hoja de resorte debe ser calentado para poder realizar cada operación.
- En la sección de tratamientos térmicos los tiempos de procesamiento están en función del espesor del material similar a la sección de Acabados.

Esta información, tanto de rutas como de los tiempos estandar, fue organizada a manera de una matriz de datos para ser usado de manera rápida en nuestro modelo de simulación y usar opciones como “Global Table” en Flexsim que permite buscar información desde tablas de datos.

Para la entrada de órdenes para producir en la planta estos deberán llegar como mixes de corte para iniciar el proceso productivo, que permitan modelar la situación actual, estos datos se tomarán de los Planes Maestros de Producción (PMP) históricos para proceder a formar los mixes de corte mencionadas anteriormente de acuerdo al Pareto de materia prima. Además, es importante mencionar que, para modelar la situación propuesta, los mixes se generarán de acuerdo con lo que se requiera reponer de inventario de producto terminado basado en la metodología reposición Activada por el Mercado.

Los datos de inventario de productos terminado y ventas se podrá descargar del sistema ERP de la empresa y con estos generar la información respectiva para la simulación. Adicional, también se requerirá los datos de Set-up los cuales los operadores registran en su reporte de producción y éstos a su vez son registrados en una hoja electrónica para su análisis productivo. En este caso, los datos de estos set up fueron tratados estadísticamente y revisados conjuntamente con los supervisores de producción para llegar a un consenso sobre la distribución estadística correspondiente para cada dato, ya que se podrían presentar casos de digitación incorrecta, datos atípicos y generar una distorsión de la información por estos.

Para las Paras por mantenimiento se requieren de los datos de tiempo medio entre fallas y tiempo medio de reparación los cuales son registrados por el servicio de mantenimiento y disponibles a manera de hojas electrónicas también.

La información de producto en proceso por cada centro de trabajo y producto terminado correspondiente a cada producto se obtuvieron de la información del ERP de la empresa que está registrada de manera histórica, así como el consumo de hojas desde la bodega de producto terminado a consecuencia de las ventas para el período de análisis.

3.6.4. Construcción del Modelo

Para la simulación del proceso productivo mediante eventos discretos usaremos el software de simulación Flexsim por ser una herramienta adecuada para profesionales no expertos en este campo y que buscan una respuesta rápida a problemas industriales (Eroles, 2013).

La entidad en el modelo será las hojas de resorte para lo cual se utiliza un “Source” como generador de las mismas en donde se carga una “Tabla” para representar el mix de corte con su fecha de llegada de las mismas, tipo de producto y cantidad de lote, así como información adicional nombrada “Label” o etiqueta que será utilizada en etapas posteriores, ver anexo A.

Figura 17

Asignación de propiedades al recurso “Source” .



Nota: Arribo programado en el recurso “Source”. Fuente: el autor.

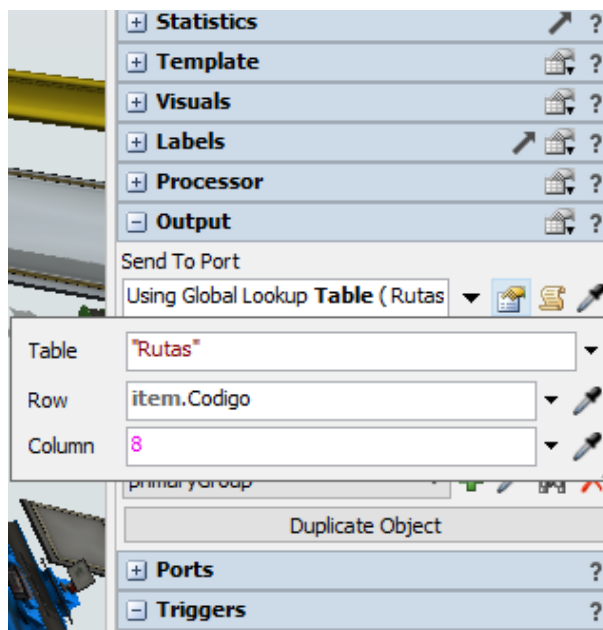
En el proceso de corte se simula el transporte del mix de corte hacia la estación de trabajo y se utiliza un “separator” y un “processor” para representar la operación de corte y

clasificación por producto de cada lote. Para cada uno de los demás procesos utilizaremos un recurso del llamado “Processor” y este tendrá un “Queue” de entrada y otro de salida que representa el lugar donde se acumula el lote de producto por procesar y en proceso por cada centro de trabajo.

Para que cada producto se dirija al proceso correspondiente luego de su procesamiento respectivo, se utilizará una tabla de rutas que indica la estación o proceso siguiente, ver anexo B. Para esto, en las propiedades “Output” en “Sent to port” del recurso se selecciona la opción “Using Global Lookup Table (table)” y asignamos: el nombre de la tabla correspondiente, en fila (Row) colocamos “item.Codigo” que buscará en la fila de acuerdo a la etiqueta “Codigo” asignado anteriormente en la tabla de arribos programados, y en la columna la estación actual de trabajo. Así de esta manera se seleccionará, para este producto, a que centro de trabajo debe ir cuando termine de ser procesado aquí. Esto se hace en cada centro de trabajo o proceso.

Figura 18

Asignación del siguiente proceso para cada código.

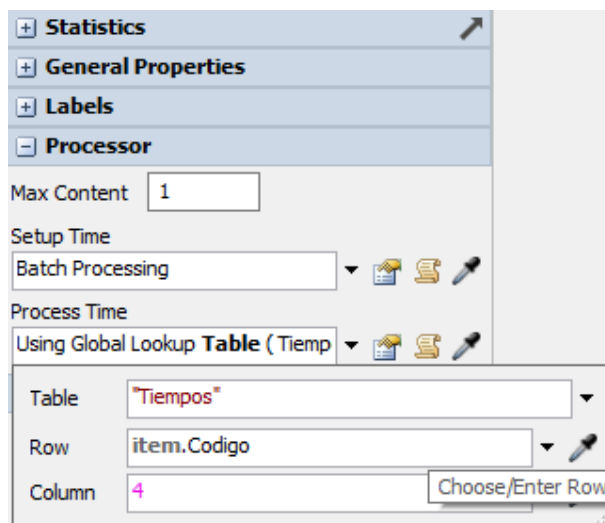


Nota: “Item.Codigo” es la etiqueta dada a cada producto al momento de ser creado el item en el source. Fuente: el autor.

Para asignar el tiempo de procesamiento para cada producto en la propiedad “processor” del “processor” asignado para cada proceso o estación de trabajo, se selecciona en “process time” la opción “Using Global Lookup Table (table)” y asignamos: el nombre de la tabla, ver anexo C, en fila (Row) colocamos “item.Codigo” que buscará en la fila de acuerdo a la etiqueta “Codigo” asignado anteriormente en la tabla de arribos programados y seleccionamos el actual proceso o centro de trabajo. De esta manera tenemos el tiempo de procesamiento estándar del código por cada proceso correspondiente.

Figura 19

Asignación de tiempo para cada producto.

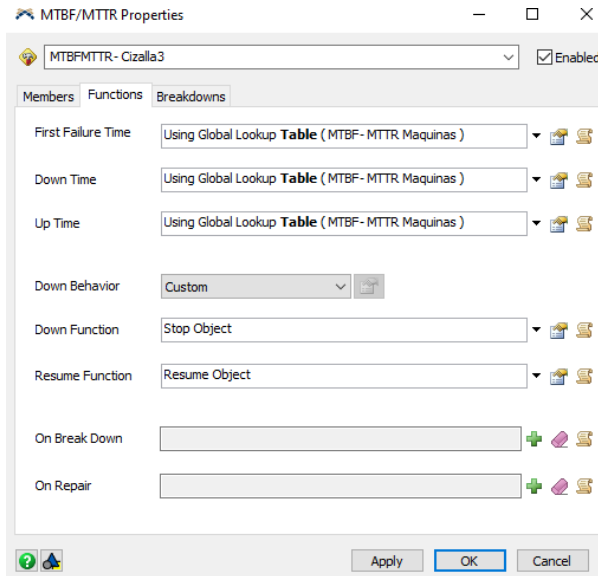


Nota: “Item.Codigo” es la etiqueta dada a cada producto al momento de ser creado el item en el source. Fuente: el autor.

Para asignar el tiempo medio entre fallas y tiempo medio de reparación en cada “processor” correspondiente para cada proceso le asignamos desde la herramienta “MTBF/MTTR” que está en la caja de herramientas. Aquí registramos los parámetros que nos solicitan por cada proceso o centro de trabajo, aunque también hay la opción de usar de manera general una configuración para todos los procesos. Para esto también se utiliza la opción “Using Global Lookup Table (table)”, ver anexo D, en donde está los parámetros de Tiempo medio entre fallas y Tiempo medio de reparación para cada proceso y cuyos valores depende de la data histórica recolectada anteriormente.

Figura 48

Configuración MTBF/MTTR

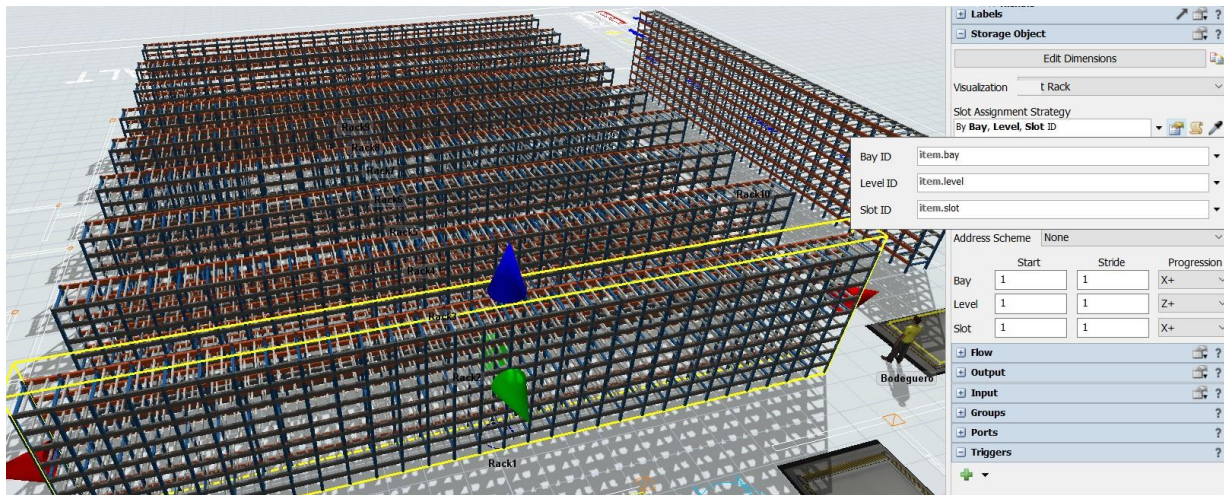


Nota: Aquí se explica la configuración para el proceso “Cizalla 3”. Fuente: el autor.

Al final del proceso productivo, el producto terminado se almacena en un “Queue” Final en el proceso de pintura para posteriormente ingresar a los racks de almacenamiento de la Bodega de Producto Terminado. Para representar esto en el modelo, desde la opción “Triggers” de este Queue final se asignan “Labels” a cada código a la entrada para asignarle una ubicación de Rack, bahía, nivel y slot que le corresponde para su posterior ubicación en la bodega. Flexsim cuenta con el objeto “Rack” y será el cual utilizaremos para representar los castillos de almacenamiento de la bodega, y desde la opción “Storage Object” asignamos la estrategia de asignación de “by Bay, level, slot ID” para de esta manera asignarle una ubicación a cada código.

Figura 49

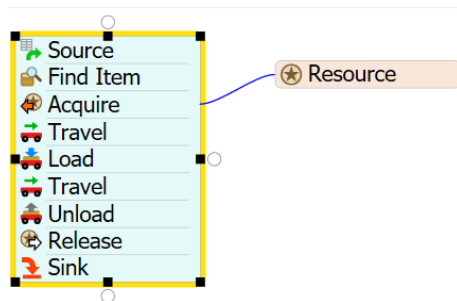
Asignación de la estrategia en "Storage Object".



Nota: Esta estrategia es asignada a los 10 racks del modelo. Fuente: el autor.

Para representar las ventas de hojas como consumo de hojas desde los racks de bodega de producto terminado, se utilizó la herramienta "Process Flow" para que cada hoja tenga su consumo o venta promedio particular acorde a la información obtenida de la empresa. La lógica para esta tarea comienza generando un objeto que fluirá a través de las actividades posteriores con un "Schedule Source" para programar la llegada de una solicitud de hoja en particular y se va agregando un "Label" para identificar el código de la hoja correspondiente. Luego se agrega la actividad "Find Item" que buscará una hoja correspondiente de los Racks del modelo con el Token generado anteriormente para que luego con actividades posteriores se solicite recursos para viajar al lugar de la hoja, cargarla, transportarla y descargarla al Queue final del modelo para posteriormente eliminar los items del modelo con el objeto "Sink".

Lógica en Process Flow para consumo de hojas en bodega de producto terminado.

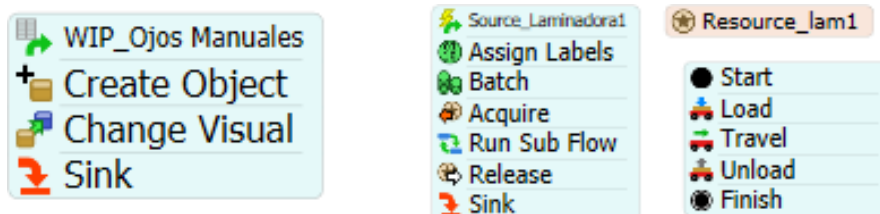


Nota: El recurso que transporta las hojas se asignó a operadores. Fuente: el autor.

Para que al momento de iniciar la simulación el modelo cuente con inventario inicial en cada centro de trabajo estos fueron incluidos usando la herramienta de Process Flow. Igualmente, el transporte de hojas entre centros de trabajo fue programado con Process Flow para que se utilicen ejecutores de tareas tales como “Operator” o “Transporter” y lo realicen cuando la cantidad de lote de producto este completada.

Figura 23

Lógica en Process Flow para creación WIP inicial y transporte de lotes por ejecutores de tarea.



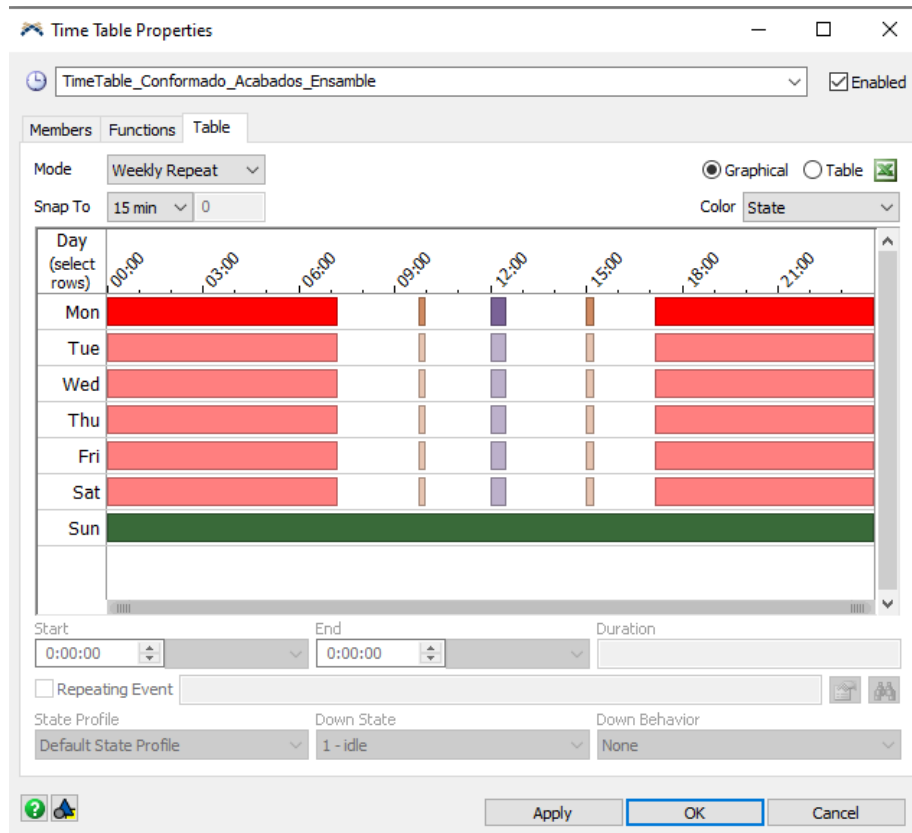
Nota: Ejemplo de WIP (Work in process) para proceso de Formación de Ojos y Transporte de lotes desde proceso de laminado . Fuente: el autor.

La simulación se lo realizará de 70 días el cual es configurado desde la opción “Run Time” ya sea fijando la fecha de inicio y de fin o con la cantidad de tiempo que puede ser horas, minutos o segundos. Los horarios de trabajo para cada sección serán cargados al modelo desde la herramienta “Time Table” que está en la librería y en donde se configurará los horarios de

trabajo de acuerdo al horario real. En la planta real, los centros de trabajo tienen horarios de entrada y salida diferentes, y en otros procesos se trabajó con dos turnos por días, los cuales se configurarán de esta misma manera en el modelo.

Figura 24

Configuración de horarios de trabajo.



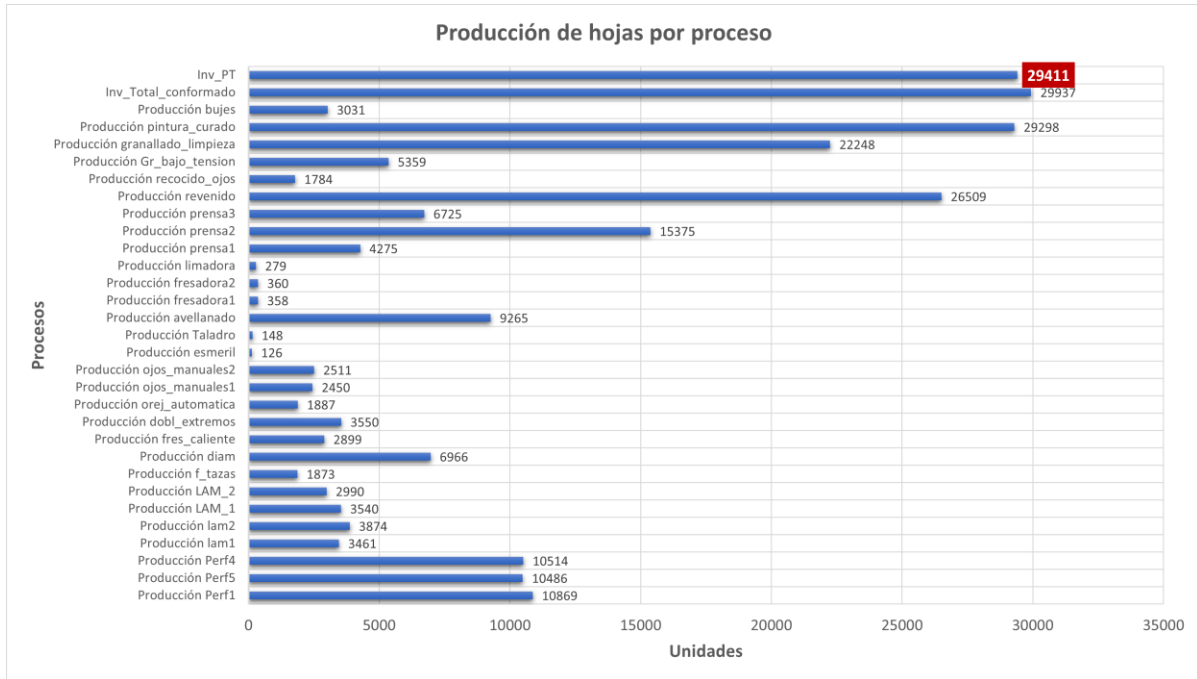
Nota: Se considera paradas por Pausas Activas del personal y almuerzo. Fuente: el autor.

3.6.5. Validación del Modelo

La figura 25 indica la producción en unidades de cada centro de trabajo, pero el que nos interesa poner atención es el denominado “Inv_PT” que es el que registra la producción que espera a ser ingresado a bodega de producto terminado luego de concluir todos sus procesos productivos. Aquí podemos notar que la producción fue de 29411 unidades, el cual fue simulado para un mes de trabajo estándar, es decir con horarios de trabajo y turnos normales, comprendido entre el 12 de agosto y 11 de septiembre del 2021.

Figura 52

Producción de modelo de simulación por proceso.

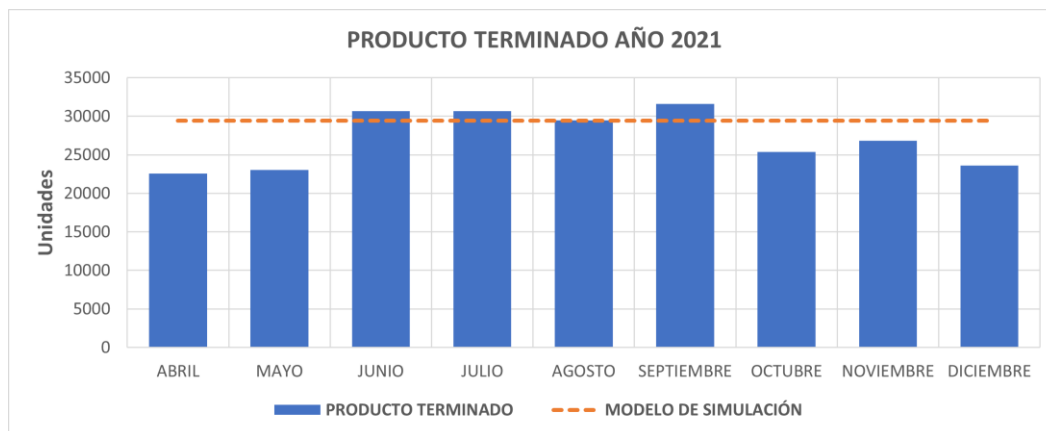


Nota: Se puede observar resaltado la cantidad producido por la planta productiva. Fuente: el autor.

En el gráfico 26 mostrado a continuación indica la producción real de los meses de junio, julio, agosto y septiembre del año 2021, considerados éstos como normales para validar el modelo, ya que se contó con condiciones normales de personal y disponibilidad de materia prima adecuadas en la planta de producción, y la información del PMP respectivo cargado al modelo de simulación fueron de los meses de agosto y septiembre mencionados anteriormente. Así de esta manera observamos que la producción del modelo simulación y la producción real llegan a niveles casi idénticos.

Figura 53

Producción de modelo de simulación vs producción real

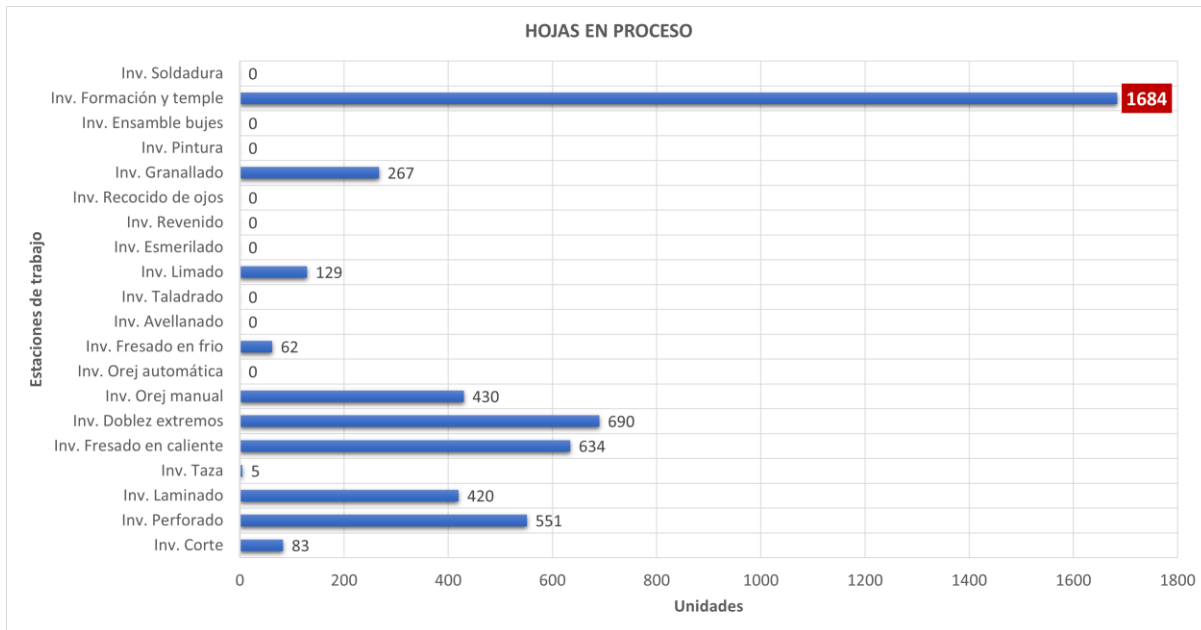


Nota: Unidades del modelo de simulación tomado del gráfico anterior, igual a: 29411 unidades.
Fuente: el autor.

Por último, en la figura 27 el inventario en proceso que se obtiene al simular el modelo durante el período indicado anteriormente muestra al proceso de Formación y Temple como la restricción de la producción al tener la mayor cantidad de hojas esperando a ser procesadas, corroborando que el modelo describe el sistema de producción con sus procesos con capacidad limitada como lo indicado en el punto 3.3 y mostrado en las figuras 11 y 12.

Figura 54

Hojas en proceso - simulación del modelo construido.



Nota: Se ilustra el producto en proceso (WIP por sus siglas en inglés). Fuente: el autor.

3.6.6. Simulación de la situación actual y el método propuesto

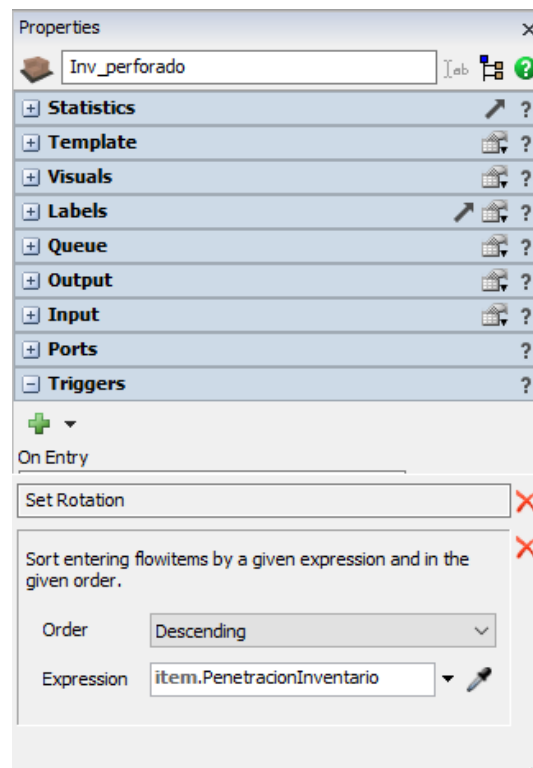
En la situación actual de la fábrica consideramos como variable de entrada el orden en el que ingresan los productos al piso de planta el cual viene dado por el “Pareto de Materia Prima Principal”, ver figura 4, que a su vez se deriva del Plan Maestro de Producción Mensual, desde le cual se generan los “Mixes de Corte” hacia el primer proceso productivo que es Corte. Mientras que para el método propuesto el orden en el cual los productos deben ingresar a planta será en función de la “Liberación de ordenes de producción” semanalmente, tal como se estableció en el punto 3.4 y se ejemplificó en la figura 14. Esta información se debe integrar al modelo de simulación a través de configurar la opción “Arrival Schedule” en el objeto “Source” del modelo e incluir en esta tabla la etiqueta “Penetración de inventario” tal como se puede observar en el anexo E.

La segunda variable a considerar en el modelo tiene que ver con la política o regla de priorización de ordenes de trabajo en las colas de inventario en proceso (Work in process)

que existen en cada uno de los centros de trabajo para su procesamiento correspondiente. En el método actual se procesa lo primero que llega a cada centro de trabajo, por lo que en el modelo de simulación actual por default esta opción está activada y así cada código espera a ser procesado según este orden en su respectivo “Queue”. En cambio, en el modelo propuesto, cada proceso debe priorizar el trabajo en espera de acuerdo a la “Penetración de inventario” como es propuesto en el punto 3.4, y se ejemplificó en la figura 13. Para esto, en el “Source” inicial que genera las entidades en el modelo se añade un “Label” en la tabla de arribos programados y en cada Queue usamos un disparador o “Trigger de entrada de control” seleccionando la opción “Descendente” y la etiqueta respectiva que en este caso corresponde a la penetración de inventario. De esta manera cada proceso tomará los productos desde cada Queue que estarán ordenados de mayor o menor penetración de inventario.

Figura 28

Configuración para ordenamiento de cola

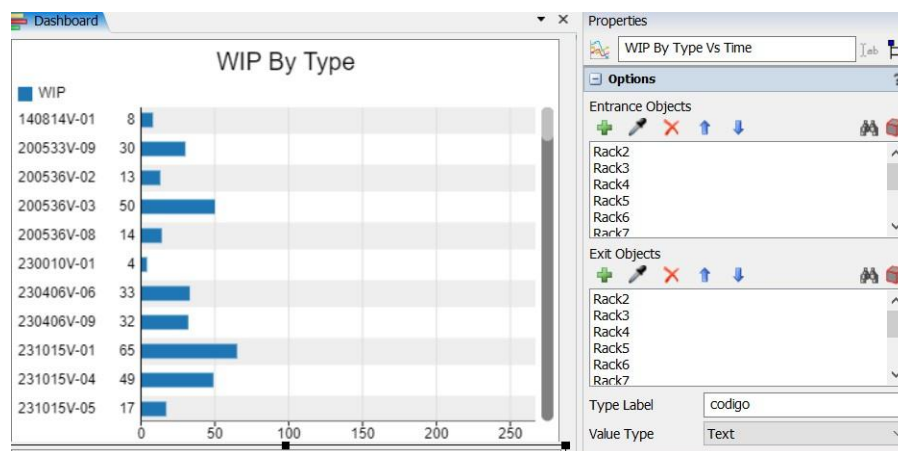


Nota: . Ejemplo para el Queue para el proceso de perforado. Fuente: el autor.

La variable de salida a analizar en el modelo de simulación tanto para el modelo actual como para el modelo propuesto será el nivel de inventario de cada producto terminado en bodega, el nivel total de inventario de producto terminado y las ventas totales y ventas perdidas al final del período de la simulación. Para esto se debe colocar indicadores con la herramienta “Dashboard” de programa Flexsim y seleccionar en la librería la opción “WIP By Type” y “Composite WIP Vs Time” del grupo “Content”, luego seleccionar los objetos de entrada a todos los racks de bodega para el primer indicador de inventario de cada producto que hay en bodega, y a los Queue de entrada y salida de bodega para el segundo indicador y para así graficar el nivel de inventario total que hay en bodega, tal como se puede ver a continuación:

Figura 29

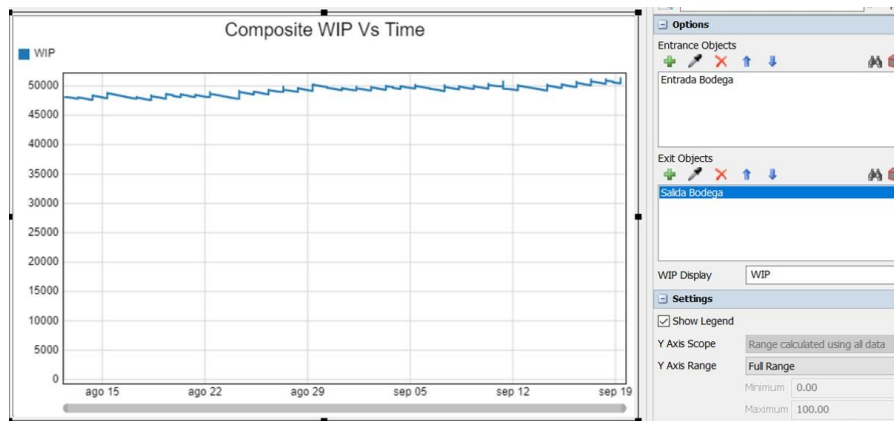
Indicador de existencias de producto terminado en bodega por Ítem.



Nota: La figura muestra las unidades de cada producto. Fuente: el autor.

Figura 30

Indicador nivel de producto terminado en bodega.

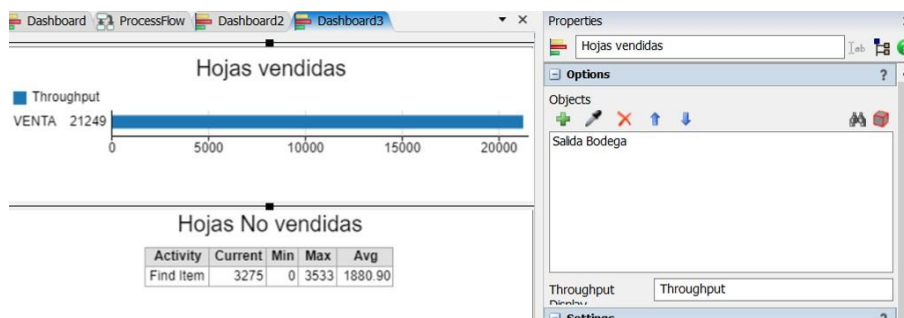


Nota: Se muestra el nivel en unidades por tiempo. Fuente: el autor.

Para el indicador de ventas totales y ventas perdidas seleccionamos el Dashboard "Output" y los objetos a seleccionar serán: el "Sink" que es el objetivo donde finaliza el modelo de simulación para las ventas totales y el objeto "Find Item" del process flow explicado en la figura 22 para las ventas perdidas. A continuación, se ilustra un ejemplo de estos indicadores:

Figura 31

Indicadores Ventas totales y ventas perdidas.



Nota: Se muestra en cantidad de unidades u hojas. Fuente: el autor.

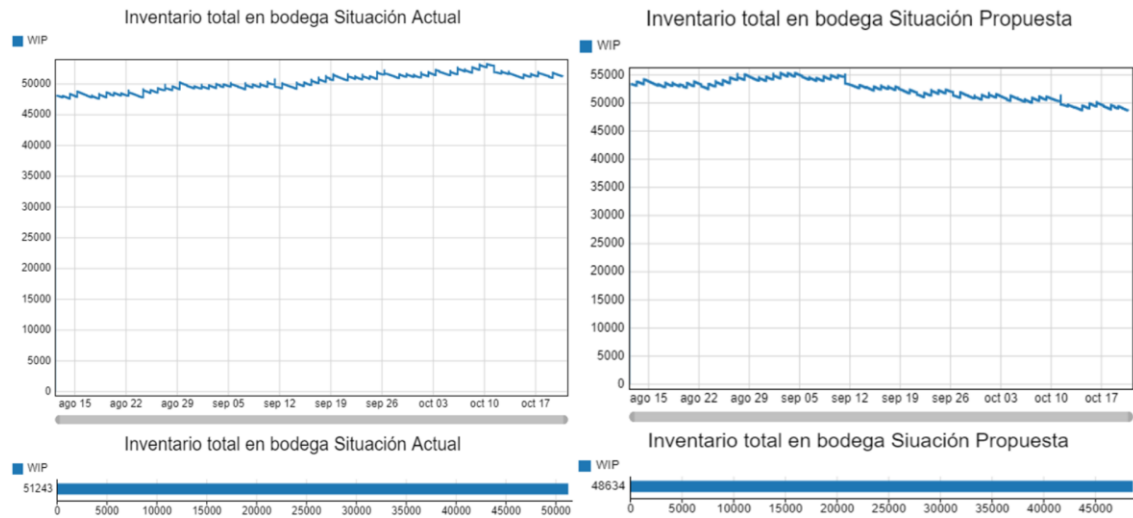
3.6.7. Análisis de resultados

Al correr la simulación para los 2 escenarios durante el período de 70 días se obtuvieron los siguientes resultados:

1. El nivel de inventario de cada producto terminado, que se puede observar en el anexo F y G para la situación actual y situación propuesta respectivamente, varía de manera significativa. En la situación actual podemos ver existencias de productos terminados muy altas que llegan hasta las 800 unidades, mientras que en otros casos las existencias o (cero) llegan a ser el 35.8 % del total de productos; en cambio en la situación propuesta las existencias de producto terminado no pasan de 400 unidades y las existencias cero (o) disminuyen hasta un 15.7 %. Esto indica una mayor disponibilidad de productos terminados lo que, como se verá más adelante, impacta de manera positiva en las ventas.
2. A continuación, se muestra el nivel de inventario total de producto terminado a lo largo del período de simulación. Aquí podemos notar que el nivel de inventario final es ligeramente menor en la situación propuesta con 48634 unidades que la situación actual con 51243 unidades, lo que representa un 5 % de diferencia, pero lo que si es evidente es la tendencia en cada escenario. En la situación actual, tendencia es positiva, lo que indicaría que el inventario en bodega continuaría aumentando, mientras que en la situación propuesta el inventario tiene una tendencia negativa, dando a entender que éste disminuiría a través del tiempo.

Figura 59

Gráfico comparativo de Inventario de producto terminado situación actual vs propuesta.

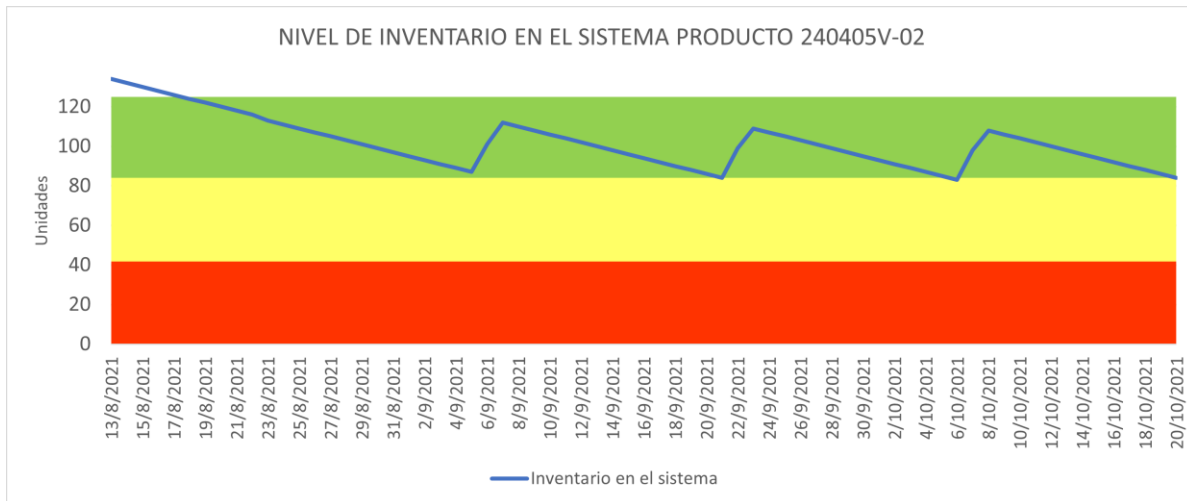


Nota: Se muestra en unidades u hojas. Fuente: el autor.

El método propuesto mantiene el nivel de inventario óptimo a través de todo el sistema productivo con ingresos constantes de producto terminado a bodega garantizando un abastecimiento constante de producto terminado. A continuación, se ejemplifica con un producto esta idea con el cual podemos ver que cada 2 semanas ingresa una nueva orden al sistema apenas el nivel de inventario ingrese a la zona amarilla.

Figura 60

Nivel de inventario en el sistema.

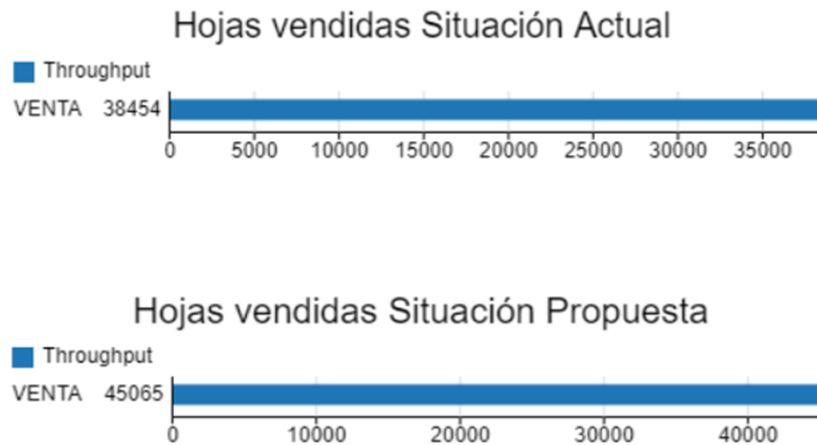


Nota: Ejemplo que aplica a cada producto que se fabrica. Fuente: el autor.

3. Los resultados de las ventas totales que se indican a continuación muestran un aumento significativo entre los 2 escenarios a favor del método propuesto, aumentando en un 17.19 %, esto debido, como se indicaba anteriormente, a la mayor disponibilidad de productos terminados.

Figura 61

Gráfico comparativo de Hojas Vendidas Situación Actual vs Propuesta.

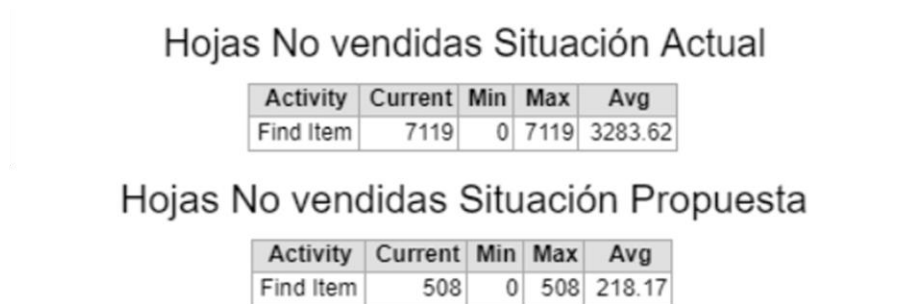


Nota: El Throughput en Flexsim está definido como la cantidad de items (Hojas) que salen del modelo de simulación a través de las ventas. Fuente: el autor.

4. En la figura 35 mostrada a continuación se presentan la cantidad de hojas no vendidas, es decir las Ventas Perdidas por no disponibilidad de producto terminado para ambos escenarios durante el período de simulación. Este resultado es el más llamativo, ya que disminuyeron en casi 92.86 %, pasando de 7119 hojas no vendidas a 508 hojas no vendidas.

Figura 62

Gráfico comparativo de Hojas No Vendidas Situación Actual vs Propuesta.



Nota: El valor de “Current” es la cantidad de hojas que no fueron vendidas por falta de disponibilidad de producto terminado al finalizar el período de simulación. Fuente: el autor.

4. CAPITULO 4: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Presentación, Interpretación y discusión de resultados

- Considerando el insatisfactorio nivel de cumplimiento del Plan Maestro de Producción por parte del área productiva con el método actual, pues no se alcanza con el mínimo deseado que es del 90 % , y la sobre producción que en todos los meses analizados se presenta (ver figura 7) debido a pedidos urgentes por parte del área comercial (ya sea ajuste de cantidad o productos adicionales) los mismos que no están considerados en el PMP correspondiente, podemos inferir que el método actual de programación de la producción, descrito en el punto 3.1 , no considera la totalidad de las necesidades del mercado, pues solo indica que producir, pero no en que orden ni que prioridad tienen para todo el negocio, y que ante cualquier variación en la demanda del mercado generan una re-programación de las tareas en toda la planta con los pedidos urgentes mencionados anteriormente. Adicional a esto, el también insatisfactorio nivel de cumplimiento en los indicadores de Asertividad y MAPE indicado en el punto 3.2, nos permite inferir que el método actual, que utiliza métodos de pronóstico para determinar la cantidad demandada por cada producto y el horizonte de tiempo de un mes para determinar el PMP correspondiente, no es el adecuado para la empresa en análisis.
- Con las figuras 11 y 12 representadas en el punto 3.3 podemos indicar que, aplicando las dos formas que Goldratt (2010) indica en sus obras, la restricción física del sistema es el proceso de Formación y Temple, ya que tanto a través del cálculo de la capacidad demandada históricamente como con la visualización de la existencia de producto en proceso represada a través de toda la planta productiva llegamos a esta conclusión, y es el cual marcará el ritmo del sistema y se debe programar sus tareas de manera minuciosa para explotar su máximo rendimiento.
- Se a planteado un sistema que propone utilizar el concepto de la Reposición Activada por el Mercado para liberar órdenes de producción semanalmente para reponer el consumo de inventario que se genera por las ventas y alcanzar niveles de inventario objetivo, tal como se calcula en el punto 3.4, permitiéndonos así ya no depender de

los pronósticos de demanda y reducir el tiempo de horizonte de planeación de 1 mes a 1 semana mejoran aquí el monitoreo y control. Estas órdenes serán programadas su liberación a la planta de producción con el tiempo suficiente de 2 semanas para que lleguen hasta la restricción del sistema para su procesamiento en la misma, y liberadas hasta que la capacidad de ésta lo permita en este período de tiempo. De esta manera el control en los inventarios mejora y permite al sistema reaccionar ante cualquier variación externa o eventualidad como aumento o disminución de la demanda, disminución de la mano de obra programada y problemas con disponibilidad operativa de máquinas o equipo entre otros. Adicional, en los demás procesos productivos, cuyas ordenes de producción será priorizadas de acuerdo a la “Penetración del Amortiguador” con mayor porcentaje, permitirá eliminar el enfoque de eficiencia local en donde cada centro de trabajo ejecutas sus actividades según conveniencia individual, para cambiar a una visión global de todo el sistema dictada por las necesidades del mercado en beneficio del fin último de la empresa que es ganar dinero.

- La simulación y comparación de los dos escenarios nos permite concluir que el método propuesto genera una menor cantidad de roturas de stock, con un 15.7 % en comparación con el 35.8 % del método actual debido a que se repone stock en un tiempo menor con la metodología propuesta a causa de la revisión y control de los inventarios de cada producto y la liberación semanal de las órdenes de producción en comparación con la emisión mensual del PMP del método actual. En la simulación, esta mayor disponibilidad de productos terminados con el método propuesto genera un aumento del 17.19 % en las ventas y una disminución del 92.86 % en las ventas perdidas. Por último, a pesar de que el inventario total de producto terminado al final del período de simulación fue ligeramente inferior en la situación propuesta con un 5 %, se hace importante notar la tendencia a la baja en comparación con los resultados de la simulación del método actual que se puede observar en la figura 32 del punto 3.6.7, esto debido a que en el método propuesto el stock se nivela paulatinamente hasta tener la cantidad de inventario objetivo distribuido a lo largo del sistema.

4.2. Recomendaciones

- Se recomienda, para un futuro estudio con simulación de escenarios, considerar el análisis más profundo en la segmentación de la cartera de productos con los conceptos más específicos en la Teoría de Restricciones, pudiendo ser estos a manera de ejemplo: “Producir para stock” para el mercado de Equipo Original, “Producir para pedido” para el mercado de Exportación y “Producir para disponibilidad” para el mercado de Reposición. En este último segmento considerar la categorización de cada producto, AA, A, B, C, (estos dados por su rentabilidad y volumen de ventas) también con los conceptos de: producir para stock, pedido o disponibilidad.
- Realizar un estudio con herramientas de simulación sobre la implementación y la transición del método actual al propuesto hasta su estabilización, ya que este cambio podría durar varios meses dependiendo de variables como: la cantidad de productos existentes, el tiempo de ciclo del sistema, inventario a lo largo de todo el sistema, entre otros.

Referencias

- James F Cox III, CIRM CFPIM, and John G Schleier Jr. *Theory of constraints handbook*. McGraw-Hill Education, 2010.
- Eliyahu M Goldratt. De pie sobre los hombros de gigantes: Los conceptos de producción frente a las aplicaciones de producción. *Goldratt Schools*, 2008.
- Eliyahu M Goldratt, Joe Brownleer, and Ilan Eshkoli. *¿ No es obvio?* Ediciones Granica, 2010.
- Sofía Estellés Miguel, Teresa Barbera Ribera, José Miguel Albarracín Guillem, and Carlos Manuel Dema Pérez. Revision to theory of constraints. In *International Conference on Information Technology for Balanced Automation Systems*, pages 193–201. Springer, 2010.
- Aitor Lizarralde. *Application of toc-dbr to make-to-order manufacturing contexts: systematic process for bottleneck identification and exploitation based on action research*. PhD thesis, Mondragon Unibertsitatea, 2020.
- Štefan Kolumber and Michal Menšík. Optimized production technology (opt)–case study of implementation s-dbr method. *International Days of Science*, page 102.
- Julio Puche, José Costas, Borja Ponte, Raúl Pino, and David de la Fuente. The effect of supply chain noise on the financial performance of kanban and drum-buffer-rope: An agent-based perspective. *Expert Systems with Applications*, 120:87–102, 2019.
- Emad Alzubi, Anas M Atieh, Khaleel Abu Shgair, John Damiani, Sima Sunna, and Abdallah Madi. Hybrid integrations of value stream mapping, theory of constraints and simulation: application to wooden furniture industry. *Processes*, 7(11):816, 2019.
- Matthias Thürer and Mark Stevenson. On the beat of the drum: improving the flow shop performance of the drum–buffer–rope scheduling mechanism. *International Journal of Production Research*, 56(9):3294–3305, 2018.
- Enrique Castillo, Antonio J Conejo, Pablo Pedregal, Ricardo Garcia, and Natalia Alguacil. Formulación y resolución de modelos de programación matemática en ingeniería y ciencia. *Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Universidad de Castilla La Mancha*,

2002.

Andrés Ramos, Pedro Sánchez, José María Ferrer, Julián Barquín, and Pedro Linares. Modelos matemáticos de optimización. *Publicación Técnica*, 1, 2010.

Richard B Chase. *Administración de operaciones*. Mc graw hill, 2009.

John E Hanke and Dean W Wichern. *Pronósticos en los negocios*. Pearson educación, 2006.

A González. An inventory management model based on competitive strategy. *Ingeniare Revista chilena de ingeniería*, 28(1):133–142, 2020.

Rodrigo Román Cuadra et al. Estudio del ddmrp (demand driven materials requirement planning). 2017.

Jacobs. F Robert y Chase. Richard B y Lummus. Rhonda R. *Gestión de operaciones y cadena de suministro*. 2014.

Abraham José Abisambra-Lemus, Luis Andelfo Mantilla-Cuadros, et al. Aplicación de la teoría de restricciones (toc) a los procesos de producción de la planta de fundición de imusa. 2014.

Eliyahu M Goldratt. *Meta, La (Tercera Edición revisada): Un proceso de mejora continua*. Ediciones Granica SA, 2010.

Julio Lu. Adn de filosofía lean para desarrollar. innovar y superarse, creando valor y beneficios (dna lean philosophy to develop. innovate and overcome, creating value and benefits). *Innovar y Superarse, Creando Valor y Beneficios (DNA Lean Philosophy to Develop. Innovate and Overcome, Creating Value and Benefits)(March 1, 2018)*, 2018.

Roberto Cespón Castro, Santiago Ibarra Mirón, and Fernando Marrero Delgado. *La selección del sistema de gestión de la producción en empresas manufactureras*. 2005.

Geovanny Miguel Correa Cevallos, Karen Lisette Crow Santos, Crystian Alexander Orosco Cabrera, et al. Estrategias y tácticas para la administración de ram (reposición activada por el mercado) en una cadena de distribución. B.S. thesis, 2015.

Eli Schragenheim, H William Dettmer, and J Wayne Patterson. *Supply chain management at warp speed: Integrating the system from end to end*. CRC Press, 2009.

Shams-ur Rahman. Theory of constraints: a review of the philosophy and its applications. *International Journal of Operations & Production Management*, 1998.

Robert E Fox and Eliyahu M Goldratt. *The race*. North River Press New York, 1986.

Carol Ptak and Chad Smith. *Orlicky's material requirements planning*. McGraw-Hill Education, 2011.

Miquel Àngel Piera and Miquel Àngel Piera i Eroles. *Cómo mejorar la logística de su empresa mediante la simulación*. Ediciones Díaz de Santos, 2006.

Miquel Àngel Piera. *Modelado y simulación. Aplicación a procesos logísticos de fabricación y servicios*. Universitat Politècnica de Catalunya. Iniciativa Digital Politècnica, 2004.

Reina Verónica Díaz Martínez Marco Antonio Zárate Cruz, Ricardo Román Salinas. Simulación flexsim, una nueva alternativa para la ingeniería hacia la toma de decisiones en la operación de un sistema de múltiples estaciones de prueba. *Científica*, 2018. ISSN 1665-0654. URL <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=61458109002>.

Miquel Angel Piera I Eroles. *Cómo mejorar la logística de su empresa mediante la simulación*. Ediciones Díaz de Santos, 2013.

ANEXOS

ANEXO A: Tabla de arribos de mixes de corte

Arrivals - PMP

Arrivals	390	Labels	5						
	ArrivalTime	ItemName	Quantity	Codigo	Mix	Cantidad_lot	N_Lote	Peso	
Arrival1	0	Resorte	1	440246V-01	1	27	1	385.56	
Arrival2	0	Resorte	1	440247V-01	1	181	2	2722.24	
Arrival3	0	Resorte	1	440247V-02	1	75	3	969	
Arrival4	0	Resorte	1	440247V-05	1	98	4	870.24	
Arrival5	0	Resorte	1	440247V-06	1	39	5	315.90	
Arrival6	0	Resorte	1	440247V-07	1	35	6	249.90	
Arrival7	0	Resorte	1	440247V-09	1	86	7	443.76	
Arrival8	0	Resorte	1	440247V-10	1	35	8	146.30	
Arrival9	0	Resorte	1	440247V-11	1	37	9	131.72	
Arrival10	0	Resorte	1	440247V-12	1	39	10	102.18	
Arrival11	0	Resorte	1	440512V-01	1	70	11	1157.80	
Arrival12	0	Resorte	1	440512V-02	1	27	12	393.12	
Arrival13	0	Resorte	1	241015C-03	2	15	13	100.80	
Arrival14	0	Resorte	1	241015C-05	2	14	14	75.32	
Arrival15	0	Resorte	1	241415C-03	2	24	15	130.56	
Arrival16	0	Resorte	1	440117S-02	2	24	16	211.20	
Arrival17	0	Resorte	1	440218S-02	2	24	17	195.84	
Arrival18	0	Resorte	1	430221V-03	2	26	18	185.64	
Arrival19	0	Resorte	1	430221V-04	2	77	19	508.20	
Arrival20	0	Resorte	1	430221V-05	2	75	20	415.50	
Arrival21	0	Resorte	1	481409V-04	2	233	21	1537.80	
Arrival22	0	Resorte	1	481409V-06	2	254	22	1290.32	
Arrival23	0	Resorte	1	481409V-08	2	45	23	149.40	
Arrival24	0	Resorte	1	481409V-10	2	30	24	52.80	
Arrival25	1440	Resorte	1	581550V-01	3	50	25	985	
Arrival26	1440	Resorte	1	581550V-04	3	34	26	559.30	
Arrival27	1440	Resorte	1	581550V-06	3	34	27	467.50	
Arrival28	1440	Resorte	1	581550V-07	3	28	28	329	
Arrival29	1440	Resorte	1	581550V-01	3	46	29	906.20	
Arrival30	1440	Resorte	1	581550V-04	3	38	30	625.10	
Arrival31	1440	Resorte	1	581550V-06	3	29	31	398.75	
Arrival32	1440	Resorte	1	581550V-07	3	59	32	693.25	
Arrival33	1440	Resorte	1	560217C-01	4	24	33	138.24	
Arrival34	1440	Resorte	1	260680V-01	4	40	34	248	
Arrival35	1440	Resorte	1	260680V-03	4	52	35	229.84	
Arrival36	1440	Resorte	1	260680V-04	4	77	36	288.75	

ANEXO B: Tabla de destinos o rutas para cada código

	Inv_Ciz_1	Inv_sierra_cil	Inv_Ciz_3	Perforado	Laminadora	Diamantado	Forja de taza	Fresado calle	DOBLADORA	DOBLADORA	OREJERA AU	OPERARIO SI
140814V-01	0	0	Inv_perforad	Inv_Total_co	0	0	0	0	0	0	0	0
200533V-06	0	0	Inv_perforad	Inv_Total_co	0	0	0	0	0	0	0	0
200533V-08	0	0	Inv_perforad	Inv_Total_co	0	0	0	0	0	0	0	0
200533V-09	0	0	Inv_perforad	Inv_Total_co	0	0	0	0	0	0	0	0
200536V-12	0	0	Inv_perforad	Inv_Avellana	0	0	0	0	0	0	0	0
200536V-02	0	0	Inv_perforad	Inv_Diamant	0	Inv_Fres_Cal	0	Inv_Doblado	Inv_Total_co	0	0	0
230010V-01	Inv_perforad	0	0	Inv_F_Tazas	0	0	Inv_Ojos_Ma	0	0	Inv_Total_co	0	0
200536V-03	0	0	Inv_perforad	Inv_Total_co	0	0	0	0	0	0	0	0
230831V-01	0	0	Inv_perforad	Inv_Diamant	0	Inv_Doblado	0	0	Inv_Total_co	0	0	0
200536V-08	0	0	Inv_perforad	Inv_Total_co	0	0	0	0	0	0	0	0
235822V-02	Inv_perforad	0	0	Inv_Diamant	0	Inv_Doblado	0	0	Inv_Total_co	0	0	0
200536V-11	0	0	Inv_perforad	Inv_Total_co	0	0	0	0	0	0	0	0
240101V-02	Inv_perforad	0	0	Inv_Diamant	0	Inv_Doblado	0	0	Inv_Total_co	0	0	0
240211V-03	0	0	Inv_perforad	Inv_Diamant	0	Inv_F_Tazas	Inv_Taladro	0	0	0	0	0
230406V-06	0	0	Inv_perforad	Inv_Diamant	0	Inv_Avellana	0	0	0	0	0	0
240404E-02	Inv_perforad	0	0	Inv_Diamant	0	Inv_Doblado	0	0	Inv_Total_co	0	0	0
230406V-09	0	0	Inv_perforad	Inv_Diamant	0	Inv_Total_co	0	0	0	0	0	0
240404V-03	Inv_perforad	0	0	Inv_laminado	Inv_Avellana	0	0	0	0	0	0	0
231015V-01	Inv_perforad	0	0	Inv_Ojos_Ma	0	0	0	0	0	Inv_Total_co	0	0
240410V-01	Inv_perforad	0	0	Inv_Orej_Au	0	0	0	0	0	0	Inv_Total_co	0
231015V-04	Inv_perforad	0	0	Inv_Avellana	0	0	0	0	0	0	0	0
231015V-05	Inv_perforad	0	0	Inv_Total_co	0	0	0	0	0	0	0	0
240516V-02	0	0	Inv_perforad	Inv_Diamant	0	Inv_Total_co	0	0	0	0	0	0
235822V-04	Inv_perforad	0	0	Inv_Avellana	0	0	0	0	0	0	0	0
240554V-02	Inv_perforad	0	0	Inv_Diamant	0	Inv_Doblado	0	0	Inv_Total_co	0	0	0
235822V-05	Inv_perforad	0	0	Inv_Total_co	0	0	0	0	0	0	0	0
240557V-01	Inv_perforad	0	0	Inv_Ojos_Ma	0	0	0	0	0	Inv_Total_co	0	0
235822V-06	Inv_perforad	0	0	Inv_Total_co	0	0	0	0	0	0	0	0
240578V-01	Inv_perforad	0	0	Inv_Ojos_Ma	0	0	0	0	0	Inv_Total_co	0	0
240101V-01	Inv_perforad	0	0	Inv_Ojos_Ma	0	0	0	0	0	Inv_Total_co	0	0
240659V-05	Inv_perforad	0	0	Inv_Total_co	0	0	0	0	0	0	0	0
240677S-02	Inv_perforad	0	0	Inv_Diamant	0	Inv_Doblado	0	0	Inv_Total_co	0	0	0
240211V-01	0	0	Inv_perforad	Inv_F_Tazas	0	0	Inv_Doblado	0	Inv_Ojos_Ma	Inv_Taladro	0	0
240677V-05	Inv_perforad	0	0	Inv_Total_co	0	0	0	0	0	0	0	0
240211V-05	0	0	Inv_perforad	Inv_F_Tazas	0	0	Inv_Taladro	0	0	0	0	0

ANEXO C: Tabla de tiempos estándar por producto y por centro de trabajo

Tiempos										
	CIZALLA # 1	SIERRA CINT	CIZALLA # 3	PERFORADOI	LAMINADORA/	CIZALLA DIAI	PRENSA DE F	PRENSA DE F	DOBLADORA	DOBLADORA
441015V-05			0.26	0.95						
580211A-02			0.26	0.95	2.13	0.70	2.35			
441015V-06			0.26	0.95						
441015V-07			0.26	0.95						
580211A-05			0.26	0.95	2.13	0.70	2.35			
441087V-03			0.26	0.95	3.13			2.52		
580211A-06			0.26	0.95	2.13	0.70	2.35			
441087V-05			0.26	0.68	2.09					
580211V-07			0.26	0.95	2.13	0.70	2.35			
441193E-04			0.26	0.95				2.52		
580211V-08			0.26	0.95	2.13	0.70	2.35			
441193V-01			0.26	1.18						1.10
580232V-03	0.88			0.68	2.09	0.70	1.76			
441193V-07			0.26	0.95						
580232V-04	0.88			0.68	2.09	0.70	1.76			
441220V-04			0.26	0.68						
580232V-06	0.88			0.68	2.09	0.70	1.76			
441220V-06			0.26	0.68						
580408V-01			0.26	0.68	2.09					2.19
441220V-07			0.26	0.68						
580408V-02	0.26			1.18	2.09	0.35			3.24	
441226V-01			0.26	0.68						1.10
580408V-06	0.26			0.68	2.09	0.70	1.17			
441226V-02			0.26	0.68				2.52	1.62	
441226V-07			0.26	0.68						
580408V-10	0.26			0.68	2.09	0.70	1.17			
441226V-10			0.26	0.68						
580409V-06	0.88			0.68	2.09	0.70	1.17			
441238V-02	0.26			0.35		0.35		2.52	2.67	
580409V-08	0.88			0.68	2.09	0.70	1.17			
441238V-07	0.26			0.35						
580415V-08	0.88			0.68	2.09	0.70	1.76			
441238V-08	0.26			0.35						
580415V-09	0.88			0.68	2.09	0.70	1.76			
441238V-09	0.26			0.35						

ANEXO D: Tabla de Tiempos medio entre fallas y Tiempo medio de reparación

	MTBF (FlexSim)	MTTR
CIZALLA # 3	62765.82	70.55
PERFORADORA 1	114860.83	339.17
PERFORADORA 4	25018.15	581.85
PERFORADORA 5	115155.67	44.33
LAMINADORA 1	43172.25	27.75
LAMINADORA 2	15132.93	227.07
PRENSA DE FORJA DE TAZAS	114916.33	283.67
PRENSA DE FRESADO EN CALIENTE	115101.83	98.17
DOBLADORA DE EXTREMOS	40623.41	35.41
OJOS MANUALES 1	32876.19	38.10
OJOS MANUALES 2	24637.50	48.21
OREJERA AUTOMATICA	31188.23	229.95
FRESADORA 1	98503.71	239.14
FRESADORA 2	230360.33	39.67
LIMADORA	86220.88	179.13
PRENSA 1	138175.40	64.60
PRENSA 2	691180	20
PRENSA 3	86190	210
PRENSA 5	230330.67	69.33
HORNO DE REVENIDO	345561	39
GRANALLADO LIMPIEZA	172755	45
CABINA DE APLICACIÓN/HORNO DE CURADO	230353	47

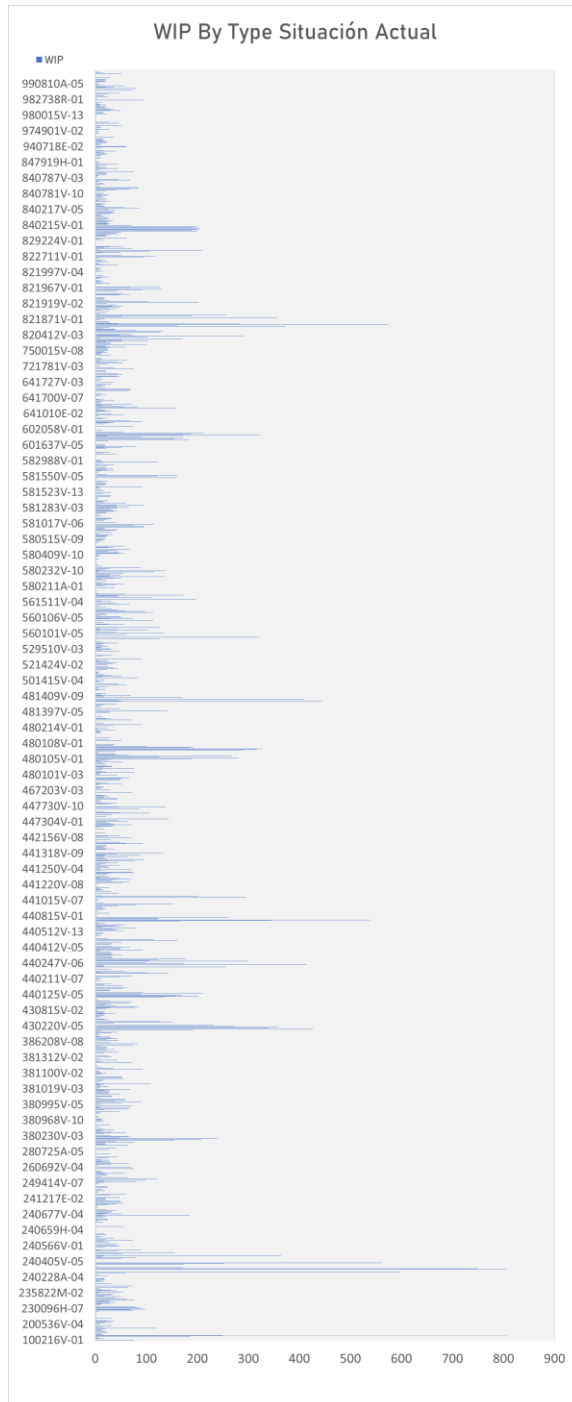
ANEXO E: Tabla de arribos de mixes de corte con la etiqueta Penetracion

Invetario

Arrivals - PMP

Arrivals		Labels								
117		6								
	ArrivalTime	ItemName	Quantity	Codigo	Mix	Cantidad_lo	N_Lote	Peso	PenetracionInventario	
Arrival31	0	Resorte	1	980115V-00	3	25	31	2350	1	
Arrival32	0	Resorte	1	991014V-01	3	25	32	267.50	1	
Arrival33	0	Resorte	1	235822V-01	4	25	33	62.50	1	
Arrival34	0	Resorte	1	240211V-00	4	25	34	2237.50	1	
Arrival35	0	Resorte	1	282159V-01	4	25	35	125	1	
Arrival36	0	Resorte	1	282159V-02	4	25	36	100	1	
Arrival37	0	Resorte	1	380329V-02	4	25	37	155	1	
Arrival38	0	Resorte	1	380986V-08	4	25	38	47.50	1	
Arrival39	0	Resorte	1	380968V-01	4	86	39	1083.60	0.98	
Arrival40	0	Resorte	1	440211V-03	4	35	40	759.50	0.94	
Arrival41	0	Resorte	1	280734V-04	4	25	41	70	0.93	
Arrival42	0	Resorte	1	260680V-04	4	32	42	121.60	0.91	
Arrival43	0	Resorte	1	441009V-06	4	35	43	535.50	0.91	
Arrival44	0	Resorte	1	240404V-05	4	25	44	85	0.91	
Arrival45	0	Resorte	1	991014V-02	4	25	45	267.50	0.91	
Arrival46	0	Resorte	1	461286V-02	4	25	46	412.50	0.89	
Arrival47	0	Resorte	1	480214V-03	4	234	47	702	0.88	
Arrival48	0	Resorte	1	521437V-01	5	35	48	938	0.88	
Arrival49	0	Resorte	1	990027V-04	5	25	49	312.50	0.88	
Arrival50	0	Resorte	1	280725A-05	5	25	50	117.50	0.88	
Arrival51	0	Resorte	1	581523V-01	5	25	51	547.50	0.87	
Arrival52	0	Resorte	1	240404V-00	5	25	52	457.50	0.86	
Arrival53	0	Resorte	1	581110X-09	5	25	53	270	0.83	
Arrival54	0	Resorte	1	249407V-02	5	35	54	521.50	0.82	
Arrival55	0	Resorte	1	480101V-01	5	37	55	710.40	0.80	
Arrival56	0	Resorte	1	200533V-05	5	25	56	420	0.80	
Arrival57	0	Resorte	1	480209V-04	5	25	57	95	0.80	
Arrival58	0	Resorte	1	991114V-01	5	25	58	442.50	0.80	
Arrival59	0	Resorte	1	240410V-02	5	35	59	140	0.78	
Arrival60	0	Resorte	1	380968V-02	5	60	60	756	0.78	
Arrival61	0	Resorte	1	990810V-00	5	25	61	222.50	0.78	
Arrival62	0	Resorte	1	447304V-06	5	37	62	270.10	0.77	
Arrival63	0	Resorte	1	601640V-05	5	35	63	105	0.77	
Arrival64	0	Resorte	1	240557V-02	5	25	64	162.50	0.75	
Arrival65	0	Resorte	1	641731V-04	5	25	65	427.50	0.75	

ANEXO F: Dashboar WIP By Type: Situación Actual



ANEXO G: Dashboard WIP By Type: Situación Propuesta

