FORMULACIÓN DE UN MODELO DE INTEGRACIÓN MRP – JIT PARA UNA EMPRESA MANUFACTURERA DEL VALLE DEL CAUCA



JEFFERSON LIBREROS LASSO
ÁNGELA PATRICIA ROMERO LÓPEZ

UNIVERSIDAD DEL VALLE
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
ZARZAL
2015

FORMULACIÓN DE UN MODELO DE INTEGRACIÓN MRP – JIT PARA UNA EMPRESA MANUFACTURERA DEL VALLE DEL CAUCA

JEFFERSON LIBREROS LASSO
ÁNGELA PATRICIA ROMERO LÓPEZ

Trabajo de grado presentado para optar por el título de Ingeniería Industrial

Director:
MSc. Juan Pablo Orejuela Cabrera

UNIVERSIDAD DEL VALLE
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
ZARZAL
2015

NOTAS DE ACEPTACIÓN

MSc. Juan Pablo Orejuela Cabrera

DEDICATORIA

Angela Patricia Romero López

A Dios por tan constantes bendiciones
A mi Padre y Madre que hicieron de mí quien soy, a toda mi familia que me apoyo incondicionalmente en mis tiempos de dedicación y estudio.

Jefferson Libreros Lasso

Dios por ser mi guía en todo el camino
A mis padres, hermano y abuelo que me han apoyado completamente en este proyecto de vida

AGRADECIMIENTOS

Angela Patricia Romero López

A Dios por permitirnos culminar esta etapa

A mis padres que siempre estuvieron allí para guiarme, aconsejarme y reprenderme cuando era necesario

A mis profesores, por su guía, compromiso, paciencia, apoyo y conocimientos transmitidos

A nuestro director de proyecto por su dedicación y enseñanzas.

A todas las personas que de una u otra forma contribuyeron a la culminación de este proyecto

En especial a mi familia y familia política que siempre demostraron su apoyo.

Jefferson Libreros Lasso

A Dios por ser tan milagroso que me dio la fuerza y sabiduría para componer lo que parecía imposible terminar.

A mi familia por creer siempre en mí y brindarme apoyo incondicional

A nuestros Docentes por todo su apoyo y paciencia en el desarrollo de este proyecto, en especial a nuestro director de proyecto Juan Pablo Orejuela.

TABLA DE CONTENIDO

1. GENERALIDADES DEL PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 7
   1.1. INTRODUCCIÓN 7
   1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 9
   1.3. JUSTIFICACIÓN 13
   1.4. OBJETIVOS 15
      1.4.1. OBJETIVO GENERAL 15
      1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS 15
2. MARCO DE REFERENCIA 16
   2.1. PLANEACIÓN Y CONTROL DE LA PRODUCCIÓN 16
   2.2. Planificación estratégica o a largo plazo: 17
      2.2.1. Planificación táctica o a mediano plazo: 17
      2.2.2. Programación maestra de la producción: 18
      2.2.3. Programación de componentes: 19
      2.2.4. Ejecución y control: 19
      2.2.5. Sistemas De Control De Producción 20
3. CARACTERÍSTICAS DE LOS SISTEMAS MRP Y JIT 22
   3.1. CARACTERÍSTICAS DE LOS SISTEMAS MRP 22
   3.2. CARACTERÍSTICAS DE LOS SISTEMAS JIT 27
4. METODOLOGÍAS DE INTEGRACIÓN MRP-JIT 32
   4.1. FACTORES CLAVES DE INTEGRACIÓN 32
   4.2. METODOLOGÍAS DE INTEGRACIÓN EXISTENTE 43
5. FORMULACIÓN DEL MODELO DE INTEGRACIÓN MRP-JIT 61
6. CASO DE ESTUDIO 69
7. ANÁLISIS DE RESULTADOS 73
8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 79
9. BIBLIOGRAFÍA 82
10. ANEXOS 87

1. GENERALIDADES DEL PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. INTRODUCCIÓN

El Plan de Requerimientos de materiales (MRP) y la filosofía Justo a Tiempo (JIT) han sido sistemas de producción encaminados al eficiente manejo de inventarios, sin embargo en la práctica tienen diferentes enfoques. El MRP dentro de un marco jerárquico se emplea para contribuir implícitamente a optimizar la producción logrando anticiparse a la demanda futura, y el JIT logra perfeccionar la producción respondiendo oportunamente a la demanda real. En la actualidad mediante una revisión literaria se ha evidenciado que trabajar estos métodos de programación de la producción por separado tiene diversas falencias, lo cual sugiere que se debe contemplar la integración MRP y JIT con el objetivo de otorgar ventajas de acuerdo a las necesidades y circunstancias actuales en las empresas manufactureras.

Para Chase et al. (2009) la filosofía de la planeación de necesidades de materiales (MRP) consiste en apresurar el flujo de materiales cuando su carencia retrasaría el programa global de producción y demorarlo posponiéndose a su necesidad cuando hay atrasos en el programa de trabajo; paralelamente afirman que la filosofía del Justo a tiempo (JIT) es la que considera el diseño del producto, del proceso, equipos, manejo de materiales, aseguramiento de la calidad, diseño del trabajo y mejoras en la productividad, para producir lo que es necesario, cuando es necesario y en la cantidad necesaria, brindando así una rápida respuesta a los clientes.

Otros autores como Sepehri M. (1985) afirma que el MRP es una herramienta potente para la planificación de la producción en los niveles altos e intermedios. Por otra parte afirma que el JIT es un método adecuado para mejorar el rendimiento de las operaciones de fabricación. Es por esto que él confía en el sistema combinado que propone para actualizar los valores de las variables de fabricación en el sistema MRP (plazos de entrega, tamaños de lote, stocks de seguridad, tiempos de preparación), a medida que cambian los valores de estas variables por las mejoras introducidas por JIT, de modo que se mantenga la exactitud del proceso de planificación.

Con este proyecto se pretende poner de manifiesto que, si bien en un principio se podría creer que el MRP y el JIT son dos sistemas alternativos, en realidad se ha demostrado que pueden ser complementarios. Por ello, es posible lograr la integración entre ambos, aprovechando las ventajas de cada uno de ellos con el objeto de mejorar el proceso de planeación y programación de la producción adaptándose a las necesidades reales de forma más conveniente.

También es importante destacar la integración de los sistemas de producción MRP-JIT de forma vertical, pues de esta manera se ha encontrado un medio holístico de gestionar la producción, donde el MRP se encarga de planificar la producción y JIT mejora el rendimiento de las operaciones de fabricación, este complemento genera control del flujo de materiales de manera eficiente durante todo el proceso de fabricación, siendo ésta una excelente estrategia para programar la producción.

Con base en lo anterior, el presente proyecto propone un modelo de integración MRP-JIT para una empresa manufacturera; ya que algunos estudios han logrado demostrar que los problemas que se presentan en el área de producción son ocasionados debido a la deficiente gestión de la misma, que implica retrasos de entregas, desperdicio de materias primas y órdenes precipitadas que influyen directamente en los costos de producción afectando la competitividad de las empresas, esta deficiencia puede ser atribuida a la necesidad de gestionar la planeación y control de la producción con sistemas de producción híbridos que contribuyan a mantener la exactitud de los procesos de producción.

1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la actualidad a nivel mundial las empresas se esmeran por reducir sus costos y aumentar las utilidades empleando diferentes estrategias y planes, uno de los cuales hace referencia a cómo programar la producción. Por tal motivo las empresas manufactureras mantienen una búsqueda constante de técnicas que solucionen el problema clásico en producción que concierne al control y coordinación del flujo de materiales de tal forma que se hallen en el lugar, tiempo y cantidad convenientes, manteniendo un nivel adecuado de inventarios para reducir la inversión y así finalmente aumentar la eficiencia de las operaciones con el objetivo de contribuir a mejorar el nivel del servicio al cliente; ya que para este fin la aplicación de los sistemas de producción tradicionales como el MRP y el JIT presentan falencias debido a la incertidumbre implícita en estos métodos, por tal razón se ve la necesidad de recurrir a otro tipo de técnicas como son los sistemas híbridos de producción que encajan en el entorno de la estrategia manufacturera presente.

Algunos autores han apoyado esta hipótesis de forma explícita. Karmarkar (1989) afirma que la clave en la adaptación de un sistema de gestión se encuentra en entender cómo la naturaleza del proceso de producción determina la elección del sistema de gestión. Según Olhager J. & ÖstlundB. (1990), se puede conseguir una ventaja competitiva significativa determinando el entorno de fabricación y ajustando los sistemas de planificación y control de la fabricación a ese ambiente, considerándolo como factor importante a la hora de seleccionar el sistema de producción adecuado.

Las estadísticas presentadas por Forero, Y. & Ovalle, M. (2013), han demostrado que el sistema de producción más empleado en las empresas manufactureras colombianas es el MRP con un 84,3% debido a las características observadas tales como la demanda dependiente que se presenta en las organizaciones y la necesidad de manejar niveles de stock de seguridad para materias primas. Pero en las últimas décadas los resultados de su aplicación no son iguales debido al constante cambio al cual han tenido que enfrentar las empresas al pertenecer a un mercado global donde su cadena de abastecimiento debe ser cada día más eficiente para cumplir con los requerimientos del cliente, de ahí la necesidad de tener una adecuada logística de operaciones, Cardenas D. &Urquiaga A, (2009).

En este orden de ideas, las condiciones actuales han llevado a las empresas a la utilización de sistemas híbridos de producción, que no son otra cosa que la combinación de las anteriores filosofías (MRP y JIT), debido que el modo de operar estos sistemas por separado varía en aspectos que pueden o no traer beneficios en la producción, aspectos como: el lead time, tamaños de lotes de

pedido, punto de reorden, manejo de la información, horizontes de pronósticos de demanda, cantidad de recursos a utilizar, capacidad de respaldo, configuración productiva, nivel de inventarios y la visión holística del sistema que les da mayor o menor flexibilidad. Para complementar lo anterior ver tabla 1.

Tabla 1.Cuadro comparativo de los sistema de producción MRP-JIT.

Características	**MRP**	**JIT**
Foco Principal	Sistemas de Información Computarizado	Operaciones físicas de planta
Función Principal	Programación de Partes sin Importar Capacidad	Programación de Operaciones
Autorización de Trabajo de Piso	Sistema de Empuje	Sistemas de Tracción Kanban
Tasas de salida	Variable o Programación de Niveles	Nivelado, Programación Estable
Capacidad Requerida	Planificación de Requisitos de Capacidad	Visual
Formas de Control	Administración Media	Planta, Trabajadores de la Línea

Fuente: (J.C. Ho,&L. Chang, 2011)

Utilizar el sistema de producción JIT por separado que trae algunas dificultades que durante la implementación de esta filosofía han salido a relucir, Champan Stephen N. (2006):

- Incremento de los costos y de las actividades por agilización.
- Aumento de los envíos de fletes de primera por parte de los proveedores,
- Producción dividida en lotes y la consecuente necesidad de configuraciones excesivas.
- Deficientes medidas de eficiencia y malos niveles de utilización a causa de desabastos.
- Faltas de existencias.

Finalmente Chase et al (2009) afirman que los inconvenientes que se presentan en el JIT son:

- Se limita a la fabricación repetitiva.
- Requiere un nivel de producción estable que regularmente debe ser de un mes.
- No permite mucha flexibilidad en los bienes producidos, ya que los productos deben ser similares con un número limitado de operaciones.

- Los proveedores deben ubicarse cerca porque el sistema depende de entregas más pequeñas y frecuentes.

Por otro lado al emplear por separado el sistema de producción MRP no se considera la capacidad de los talleres y de los proveedores a la hora de generar las cargas de trabajo. Según Umble & Srikanth (1995) se pueden presentar las siguientes ineficiencias:

- Continúa ocurrencia de número de pedidos no entregados a tiempo.
- Cuellos de botella “móviles”.
- Exceso de producción.
- Programa sin la debida justificación por ineficiente flujo de los productos en la planta.
- Dificultades para estimar la variación de los tiempos de producción.
- Dificultades para controlar las modificaciones que genera el proceso (Chase &Aquilano, 1995).

Al ejecutar el MRP como sistema de producción según Ho & Chang (2001) se presentan los siguientes problemas:

1. La determinación de los plazos de entrega para ser mantenidos en los procesos de fabricación.
2. La determinación del tamaño de lote de proceso sin tener en cuenta las fluctuaciones en los procesos.
3. Generar un programa factible para los talleres que no define en detalle el recurso y tiempo en cada operación del proceso.
4. Planeación de la capacidad de los recursos suponiendo su permanente disponibilidad

.

Ante el dilema planteado por la elección entre MRP y JIT, Maskell B. (1989) afirma que no hay conflicto entre ellos. El MRP y el JIT son completamente compatibles: usan diferentes técnicas, que tienen que ser adaptadas para cubrir las necesidades de la empresa, pero juntos forman una combinación ganadora, a pesar de las dificultades presentadas anteriormente.

Lamentablemente algunos autores Schonberger R.J. (1983) y Vollmann et al. (1997), han pensado que MRP y JIT son dos métodos que compiten y entran en conflicto. Sin embargo, lo que interesa es entender qué hay detrás de estas dos premisas y reconocer que una y otra son aportes valiosos a una estrategia de producción coherente, las cuales son conceptos y técnicas enteramente compatibles que bien pueden unificarse para lograr resultados todavía mayores que cuando se aplican aisladamente, obviando así las falencias detectadas que

llegan a ser problemas en aquellas empresas que todavía utilizan estos sistemas de producción por separado.

Finalmente se tiene la hipótesis que mediante un sistema híbrido de producción MRP - JIT, la metodología JIT propone trabajar con lotes pequeños en la elaboración de productos para poder ser entregados en el momento y cantidad necesaria con base en los requerimientos del cliente, generando así una reducción en el nivel del inventario en bodega lo cual implica ahorro de dinero por costos de almacenamiento; paulatinamente la metodología MRP propone una planificación de material para que en el momento en que inicie la producción sólo se utilicen los materiales exactos y no existan desperdicios, logrando así una coordinación en la programación de producción e inventario Meza E. & Santos D. (2011).

No implementar ambas metodologías genera desperdicio en términos de tiempo y dinero al momento de producir, ocasionado por los excesos de inventarios, transportes innecesarios y la programación de productos que no son planeados y controlados adecuadamente, esto también trae consecuencias en el sistema de producción como desbalanceo de inventarios, retrasos en la producción, mayor tiempo de transformación, disminución en la productividad y por ende bajo nivel de servicio; de esta manera confirmando que estas metodologías no solo son compatibles, sino que las ventajas de cada una de ellas pueden reforzarse generando una sinergia que contrarresta las anteriores consecuencias mencionadas.

Con base a lo anterior se genera la siguiente pregunta de investigación:

¿De qué forma se pueden integrar las características principales del MRP y Justo a Tiempo para una empresa manufacturera de la región, de tal forma que se contribuya a minimizar el impacto de las falencias generadas por la aplicación de estos sistemas de forma aislada?

1.3. JUSTIFICACIÓN

Durante mucho tiempo el MRP y el JIT han sido visto como sistemas completamente aislados, sin embargo varios investigadores han realizado integraciones y afirman los buenos resultados que se obtienen de estos, tales como; Champan Stephen N. (2006) que asegura que a medida que los administradores sintieron confianza en estos sistemas, se dieron cuenta que ambos podían utilizarse en conjunto para obtener una operación global efectiva. Así mismo Wallace (1990) argumenta que el MRP y el JIT son dos herramientas poderosas que se apoyan mutuamente, ya que este último hace posible que el funcionamiento del MRP sea más sencillo y fácil, paralelamente el MRP permite a la empresa sacar partido de las mejoras generadas por el JIT.

También Discenza & McFadden (1988) indican que muchas empresas están empleando tanto MRP como JIT en un intento de aprovechar las ventajas de ambos sistemas. El MRP proporciona un programa maestro de producción estable y otorga visibilidad sobre las necesidades de materiales futuras, en cambio JIT proporciona un sistema pull para ejecutar la producción y planes de materiales que responden a las condiciones cambiantes de la planta.

Por otra parte Spencer M. (1994) afirma que la combinación de MRP- JIT permite a las empresas seleccionar métodos que se ajustan mejor a las características únicas de su entorno de producción, indicando que el MRP proporciona las condiciones para que los métodos JIT puedan ser utilizados con éxito.

El sistema combinado push-pull vertical tiene módulos de planificación MRP y módulos de ejecución pull. Este sistema permite gestionar flujos de materiales con distintas necesidades de control detallado en distintos niveles jerárquicos del sistema de planificación y control de la producción. Monden (1994), afirma que, después que el MRP haya establecido el programa maestro, el sistema pull puede utilizarse como una herramienta para la ejecución de la producción dentro de un intervalo de tiempo determinado.

Por consiguiente el MRP complementa el JIT, evitando que la probabilidad de faltantes aumente debido a la pre-planificación de pedidos de materias primas realizada por este primero, que a su vez garantiza un buen flujo de materiales y de esta manera un proceso sin interrupciones; paralelamente el JIT complementa a el MRP teniendo en cuenta el cálculo de capacidades para la generación de los pedidos planeados de la producción asegurando de esta manera un plan detallado con menos incertidumbre.

Algunos investigadores como Pun et al. (1998) aseguran que muchas compañías de fabricación están operando en un entorno de fabricación híbrida. (Mezcla de producción intermitente y repetitiva), en donde el uso único del MRP o del JIT no es factible, en este caso, elementos de ambos pueden cooperar entre sí en una plataforma integrada, dado que las prácticas MRP-push y JIT-pull son sinérgicas, y pueden contribuir a minimizar el desbalanceo de inventarios. Comprobando esta afirmación por medio de la aplicación de un sistema hibrido MRP-JIT en una empresa manufacturera de PCB (Printed Circuit Board) en la cual se consiguieron los siguientes índices de rendimiento:

- Niveles de inventarios se redujeron en un 20 % en el WIP (Work in process) con el sistema Kanban, y en un 25 % en el inventario de producto final con el modelo mixto de programación propuesto.

- Configuración y cambio de los tiempos se redujeron de un 33 % a un 75 % en diversos artículos.

- Tiempo de producción se redujo en un 43 %.

- Tiempo de espera del proveedor se redujo en un 30 %.

Con base en lo anterior el presente proyecto de investigación busca aplicar una metodología que logre integrar las características de Plan de Requerimiento de Materiales y la Filosofía Justo a Tiempo, de tal forma que se contribuya a solucionar las falencias que concierne al manejar estos sistemas de producción de forma aislada tales como; exceso de inventarios, la falta del control de la capacidad y retrasos en la producción.

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. OBJETIVO GENERAL

Diseñar un Modelo de Planificación de la Producción que incorpore la integración de las ventajas funcionales de los sistemas de producción MRP- JIT de tal forma que contribuya a minimizar el impacto generado por el exceso de inventarios en proceso.

1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar los factores claves de integración que concierne al Plan de Requerimiento de Materiales y la Filosofía Justo a Tiempo.
- Evaluar las metodologías de integración existente entre el Plan de Requerimientos y Filosofía Justo a Tiempo con base en una revisión literaria.
- Definir las características a ser incorporadas en el modelo de integración MRP-JIT.
- Validar el modelo de integración mediante un caso de estudio.

2. MARCO DE REFERENCIA

2.1. PLANEACIÓN Y CONTROL DE LA PRODUCCIÓN

La planeación de la producción es una de las actividades fundamentales que se deben realizar en toda empresa productora de bienes. Básicamente se refiere a determinar el número de unidades que se van a producir en un período de tiempo, con el objetivo de prever en forma global, cuáles son las necesidades de mano de obra, materia prima, maquinaria y equipo, que se requieren para el cumplimiento del plan.

Para Arroyave W. & Nuñes N. (2011) Planear la producción trae muchas ventajas para la empresa como:

- Definir el número de unidades a producir en un período.
- Calcular en forma global las necesidades de mano de obra, materia prima, maquinaria y equipo, tomando como base en lo producido en períodos anteriores.
- Establecer y cumplir fechas de entrega para los pedidos.
- Calcular los requerimientos de materia prima necesaria para la producción estimada, partiendo de las existencias disponibles.
- Calcular los recursos económicos necesarios para llevar a cabo la producción planeada.

La planificación de la producción juega un papel muy importante en la industria, puesto que permite que una compañía pueda estar preparada para suplir la demanda, y de esta manera satisfacer a sus clientes al tiempo que alcanza su meta de hacer dinero, en otras palabras: “La planificación y control de la producción exige la adquisición y asignación de recursos limitados para las actividades de producción con miras a satisfacer la demanda de los clientes en un horizonte de tiempo específico” Graves, S. (1999).

Hay numerosas formas en que se pueden estructurar el proceso de planificación y control de la producción con un enfoque jerárquico, Domínguez Machuca et al. (1995) establece un método en el cual se destacan 5 fases claramente diferenciadas cada una con técnicas diferentes para cumplir sus objetivos:

2.2. Planificación estratégica o a largo plazo:

Implica entre otras cosas, la generación de un plan comercial o plan de ventas, calculado a partir de demandas previstas y de los objetivos empresariales para dicho horizonte de tiempo. A este nivel, las actividades de planificación de la producción se centran en el desarrollo de nuevos productos o modificación de los existentes, en tecnologías y procesos, así como la valoración de las necesidades de capacidad derivadas del plan a largo plazo.

2.2.1. Planificación táctica o a mediano plazo:

En esta etapa se lleva a cabo la planeación agregada, en la cual se trata de establecer en unidades agregadas (familias de productos), y en periodos normalmente mensuales, los valores de las principales variables productivas (cantidades de productos, inventarios, nivel de mano de obra, etc.), teniendo en cuenta la capacidad disponible e intentando cumplir con el plan a largo plazo al menor costo posible.

2.2.1.1. Planeación De Capacidad

Para Everett E. et al. (1994), la capacidad de las operaciones se refiere a la capacidad productiva de una instalación; en general se expresa como un volumen de producción en un período de tiempo. Su medición depende de la diversidad de la mezcla de productos que posea la organización; cuando las unidades producidas son casi idénticas, la capacidad se puede medir en unidades de producción, sin embargo, cuando la mezcla de productos está bien diversificada, es difícil encontrar una unidad de producción que tenga sentido y en este caso la capacidad puede ser medida en términos de insumos como la disponibilidad de horas máquinas y horas hombre.

La planeación de capacidad tiene como objeto principal obtener un equilibrio entre la capacidad necesaria y la demanda que debe satisfacer la empresa en un futuro mediante la determinación de las necesidades de capacidad o carga requerida; entre mayor sea la brecha entre las dos, esta situación se verá representada en un aumento de los niveles de inventario, pérdida de contratos, mayores cargas financieras derivadas de la contingencia por insuficiencia de capacidad y retrasos en las fechas de entrega, Everett E. et al. (1994).

2.2.2. Programación maestra de la producción:

Una vez se realice el plan agregado se pasa al plan maestro de producción, en el cual se desagregan las familias en productos y el periodo de planeación pasa de meses a semanas. En éste nivel se tiene que corroborar que la capacidad instalada cumpla con los objetivos establecidos en la planeación agregada.

El programa maestro de producción (MPS, Master Production Schedule) especifica qué debe hacerse (es decir, el número de productos o artículos terminados) y cuándo. Este programa debe estar en concordancia con el plan de producción que establece el nivel global de producción en términos generales (por ejemplo, familias de productos, horas estándar o volumen en dinero).

El programa maestro de producción nos dice qué se requiere para satisfacer la demanda y cumplir con el plan de producción. Este programa establece qué artículos hacer y cuándo hacerlos: desagrega el plan agregado de producción. El programa maestro de producción se establece en términos de productos específicos, mientras que el plan agregado de producción se establece en términos generales como familias de productos, Heizer J. &Rendell B. (2009).

El otro aspecto básico del plan maestro de producción es el calendario de fechas que indica cuando tienen que estar disponibles los productos finales. Para ello es necesario decretar el horizonte de tiempo que se presenta ante la empresa en intervalos de duración reducida que se tratan como unidades de tiempo.

Habitualmente se ha propuesto el empleo de la semana laboral como unidad de tiempo natural para el plan maestro. Pero debe tenerse en cuenta que todo el sistema de programación y control responde a dicho intervalo una vez fijado, siendo indistinguible para el sistema la secuencia en el tiempo de los sucesos que ocurran durante la semana.

El MPS al ser un plan de producción a nivel de artículos finales o productos por periodo, se alimenta de diferentes fuentes de datos, Nahmias S. (2007):

- Pedidos en firme de los clientes
- Pronósticos de demanda futura por artículo
- Requerimientos de inventario de seguridad
- Inventarios disponibles
- Planes estacionales
- Pedidos internos de otras partes de la organización
- Capacidad instalada y disponible

2.2.3. Programación de componentes:

Una vez se determinan las unidades a fabricar de productos terminados, es necesario realizar la correcta planeación de las componentes que se necesitan para su elaboración, para esto se usan valiosas herramientas como el MRP. Este fue pensado para controlar el proceso de producción en aquellas empresas cuya actividad es desarrollada en un entorno de fabricación para inventarios. La producción en este tipo de empresas, cuenta con múltiples etapas intermedias en las cuales se van transformando y adicionando las diferentes materias primas y componentes hasta llegar a un nivel superior en el cual se obtiene el producto final.

2.2.4. Ejecución y control:

En esta etapa se desarrolla programación de actividades, operaciones y máquinas dentro del taller. Para realizar esto es esencial conocer técnicas de Scheduling. El problema de Scheduling está definido como la asignación y secuenciación de trabajos en un conjunto de recursos, donde cada trabajo está compuesto por una serie de operaciones y un conjunto de restricciones asociadas a las actividades que afectan directamente la complejidad del problema. En otras palabras, se define el problema de Scheduling como el proceso de asignar recursos a actividades a lo largo del horizonte de tiempo, Baker (1974).

Programar es el proceso de organizar, elegir y dar tiempos al uso de recursos para llevar a cabo todas las actividades planeadas para producir las salidas deseadas en los tiempos deseados, satisfaciendo a la vez un gran número de restricciones de tiempo y relaciones entre las actividades y los recursos, Morton & Pentico (1993).Todo programa tiene un orden cronológico de actividades para la utilización de los recursos, especificando el tiempo de inicio y de finalización de cada actividad finalmente una secuencia en Scheduling indica el orden en que los trabajos serán procesados en los recursos.

Teniendo un correcto sistema de información y de control entre cada una de estas 5 fases arriba mencionadas se puede lograr un buen manejo de los procesos dentro de la empresa y así poder cumplir con las metas organizacionales. De esta forma, un sistema de control de producción le entrega a la empresa las herramientas necesarias para satisfacer una demanda a través de un conjunto de reglas y parámetros que buscan maximizar las ganancias. Con el fin de alcanzar estos objetivos, dichos sistemas buscan reducir tiempos de ciclo, minimizar defectos relacionados con la calidad del producto, bajar costos de manejo y mantenimiento de inventarios, aumentar el nivel de producción de la empresa,

entre otras estrategias similares. Nuestro proyecto enfocará sus esfuerzos en las 2 últimas etapas propuestas por Domínguez Machuca et al. (1995).

2.2.5. Sistemas De Control De Producción

Los sistemas de control de la producción son mecanismos para la gestión del flujo de materiales en la planta de acuerdo con los objetivos de la empresa. Según Huang & Kusiak (1998), un sistema de producción es aquel que se encarga de producir las piezas correctas, en el momento correcto y a un costo competitivo. En pocas palabras, un sistema de producción es el resultado de un conjunto de decisiones básicas relacionadas con el funcionamiento de la cadena productiva a la que está sujeta una empresa, condicionada por medio de una serie de factores internos y externos."

Tradicionalmente estos sistemas se han venido dividiendo en sistemas pull y push, también llamados halar y empujar respectivamente. Según Hopp & Spearman (2008) la distinción entre sistemas push y pull puede ser expresada en el mecanismo que acciona el movimiento de trabajos en el sistema productivo, un sistema pull establece un límite a priori en trabajo en proceso, mientras que un sistema push no lo hace. Sin embargo, los sistemas push son capaces de operar proactivamente basados en las demandas pronosticadas, lo que no es en el caso en los sistemas pull que sólo reaccionan a la condición real del sistema.

En el sistema push la orden que activa el mecanismo proviene de una fuente externa al sistema (valores pronosticados de la demanda futura), mientras que en el sistema pull la orden de activación proviene de una fuente interna (demanda real actual). Koh & Bulfin, (2004), señalan que en los sistemas push la información fluye desde el comienzo de la línea de producción hasta el final de la misma mientras que en los sistemas pull la demanda se origina en el final de la línea de producción y realiza un recorrido inverso al presente en los sistemas push.

Huang & Kusiak, (1998), mencionan que un sistema push se caracteriza por estar diseñado para operar lanzando material al sistema. De esta forma, en este tipo de sistemas una máquina superior de la línea de producción (máquina que hace parte del inicio de la línea) produce partes sin esperar que sean solicitadas por las máquinas inferiores de la línea (máquinas que hacen parte del final de la línea).También mencionan que en general, un sistema pull se caracteriza por estar diseñado para operar basado en la finalización de productos. De esta forma, en este tipo de sistemas una máquina superior de la línea de producción produce partes únicamente cuando recibe un pedido de estas por parte de las máquinas inferiores de la línea.

Algunos autores han planteado diferencias entre los sistemas push y pull desde diversas perspectivas, Paredes L. & Penagos J. (2012) consideran que los sistemas pull se definen como sistemas de producción para fabricar el tipo de unidad necesaria en el momento requerido y en las cantidades adecuadas. Este sistema creció de una técnica de control de producción Kanban y la raíz de la filosofía JIT, una filosofía de administración de la producción que integró al sistema productivo, a los proveedores y a los clientes; expandiéndose del control de flujo y material en proceso hacia el control de flujo con eliminación del desperdicio.

De igual forma plantean que en el sistema push la empresa fabricante decide de antemano qué es lo que va a producir y empieza su fabricación al principio de la cadena productiva, conforme estas piezas avanzan por la cadena “empujan” la producción deseada hacia adelante hasta que llegan a manos del cliente o se acumulan en un almacén como stock terminado, en esta forma de producción se decide qué se fabrica en cada momento en función de los intereses del fabricante, teniendo en cuenta stock disponible, lote económico de proceso y de pedido, etc, como se hace por medio de la ejecución de un sistema de producción MRP.

3. CARACTERÍSTICAS DE LOS SISTEMAS MRP Y JIT

Con el propósito del cumplimiento del primer objetivo específico que concierne en identificar los factores claves de integración relacionados con el Plan de Requerimiento de Materiales y la Filosofía Justo a Tiempo, a continuación se destacan las características de los sistema de producción mencionados con el fin de conocer las bases y funcionamiento de cada uno.

3.1. CARACTERÍSTICAS DE LOS SISTEMAS MRP

El sistema de planificación de requerimientos de materiales (MRP), surge como una forma exacta de gestionar los inventarios y es asociado al sistema push (de empuje), se basa en el cálculo anticipado del material que requiere la operación (liberaciones planificadas de pedidos), para luego y en el caso de no presentarse cambios importantes en los planes, “empujarlo” hacia el sistema mediante una orden de producción. Jiménez (2010).

El MRP es un sistema que permite establecer las necesidades de compra y/o de fabricación de los productos en cada periodo de tiempo, con base en un plan maestro de producción (MPS) establecido y teniendo en cuenta el estado de los stocks (Fichero de Inventarios) y las estructuras de los productos (lista de materiales).

Por consiguiente el MRP consiste esencialmente en un cálculo de necesidades netas de los artículos (productos terminados, subconjuntos, componentes, materia prima, etc.) introduciendo un factor nuevo no considerado en los métodos tradicionales de gestión de stocks, el cual es el plazo de fabricación o compra de cada uno de los artículos, lo que en definitiva conduce a modular a lo largo del tiempo las necesidades, ya que indica la oportunidad de fabricar (o aprovisionar) los componentes con la debida planificación respecto a su utilización en la fase siguiente de fabricación. Corrella (2005)

Si bien el nivel de planificación del MRP podría considerarse un sistema pull, ya que todos los cálculos de requerimientos se basan sobre un Plan Maestro de Producción, que a su vez se deriva de previsiones de demanda o pedidos de clientes, sin embargo, éste no es el caso del nivel operativo, donde MRP es claramente un sistema push (Al-Halkim & Jenney, 1991). Así, los programas generados por el MRP provocan el inicio de los procesos de producción para satisfacer las fechas de entrega, las piezas requeridas se procesan y pasan a la siguiente etapa hasta que se produce el montaje final.

El MRP es un sistema pull en el nivel de planeación de materiales, ya que la explosión lógica del producto del MRP sugiere que el ítem superior hala los requerimientos de materiales desde sus predecesores, esto no sucede así en el nivel de programación, ya que una vez una orden de producción es liberada hacia el área de trabajo, este se empuja a través del sistema tan rápido como sea posible sin importar si hay demanda desde las operaciones descendentes. Por lo tanto, se concluye que el MRP es un sistema push en el nivel de programación de operaciones. Ho& Chang (2001)

A continuación se describirá el proceso MRP según Fuente & Priore (2002):

La información de entrada del módulo de cálculo del MRP es el status del inventario, la estructura de fabricación y el plan maestro de producción, son tratados bajo un cálculo para cumplir con unos objetivos:

- Asegurar que los materiales y productos estén disponibles para la producción y entrega a los clientes.
- Mantener los niveles de inventario adecuados para la operación.
- Planear las actividades de manufactura, horarios de entrega y actividades de compra.

El status del inventario contiene información importante para cada producto como la referencia, denominación, stock de seguridad, tipo de lote, tiempo de suministro, disponibilidades, pedidos pendientes de recibir, además las materias primas, productos en proceso, productos terminados o mercancías para la venta; los materiales, repuestos y accesorios para ser consumidos en la producción de bienes fabricados para la venta o en la prestación de servicios, empaques y envases.

Para Perez D. & Salazar J. (2007) El fichero de registro de inventarios es la fuente fundamental de información sobre inventarios para el MRP y contiene tres segmentos para cada uno de los Ítems en Stock, estos son:

a. Segmento Maestro de datos: identificación de los distintos Ítems en forma numérica, tiempo de suministro, stock de seguridad para determinar el tamaño del lote de pedido, nivel más bajo en que aparece, posible porcentaje de defectuosos, etc.

b. Segmento de estado de inventarios: Necesidades brutas, o cantidad a entregar de los ítems para satisfacer el pedido originario en el (los) nivel(es) superior (es), así como sus fechas de entrega.

c. Segmento de datos subsidiarios, contiene la información sobre órdenes especiales, cambios solicitados y otros aspectos.

Para Pérez D. & Salazar J. (2007) Dada la importancia que tiene el Fichero de Registro de Inventarios dentro del proceso de planificación de las necesidades de materiales es importante que este fichero sea mantenido al día, de forma que en él, se reflejen los distintos cambios ocurridos ya sea por transacciones internas (generadas por el sistema MRP) o externas (producidas fuera del sistema).

Por otro lado para Fuente & Priore (2002) la estructura de fabricación o lista de materiales describe el árbol de fabricación o montaje de cada producto, indicando las cantidades necesarias de los componentes para producir una unidad del correspondiente producto, por medio de una codificación por niveles de fabricación que facilitan la explosión de necesidades a partir del elemento final, su lógica es la siguiente:

Nivel 0: Productos finales

Nivel 1: Los componentes unidos directamente a un elemento de nivel 0, siguiendo este proceso hasta llegar a las materias primas y partes compradas en el exterior.

Definir qué va en un producto puede parecer sencillo, pero en la práctica puede resultar difícil. Para facilitar este proceso, los artículos manufacturados se definen mediante una lista estructurada de materiales (BOM, por las siglas en inglés de Bill of Material) que es una lista de las cantidades de componentes, ingredientes y materiales requeridos para hacer un producto. Los dibujos individuales, además de describir las dimensiones físicas, detallan cualquier proceso especial y la materia prima necesaria para producir cada parte. Heizer J. &Rendell B. (2009). Por lo cual la lista de materiales es una herramienta que facilita el análisis de la estructura de fabricación y montaje del producto, ya que es una descripción clara y precisa de la obtención de un producto.

Se concluye que el BOM identifica como se manufactura cada uno de los productos terminados, especificando cada uno de los artículos subcomponentes, su secuencia de integración, su cantidad en cada una de las unidades terminadas y los centros de trabajo que realizan la secuencia de integración en la instalación. Esta información se obtiene de los documentos de diseño del producto y del análisis del flujo de trabajo.

Paralelamente se cuenta con el programa maestro de producción que muestra un conjunto de necesidades de los distintos productos finales en periodo y cantidad. El periodo de tiempo cubierto por el plan maestro de producción, es denominado horizonte de planificación, el cual deberá ser lo suficientemente amplio para

acabar de forma acumulativa los tiempos de suministro de los distintos componentes de los productos finales.

Para que el sistema funcione correctamente es necesario que la lista de materiales este perfectamente definida y que los plazos de entrega sean conocidos y constantes. Además, debemos conocer exactamente las existencias del almacén, ya que se tienen en cuenta a la hora de calcular las necesidades.

Para que el proceso de Planificación MRP sea efectivo deben darse dos condiciones:

- Que el programa maestro de producción se mantenga firma durante el horizonte de planificación.

- Que la información en cuanto a tiempo de suministro y tamaño de lote se deben ajustar a la realidad.

Con el proceso del cálculo de las entradas al sistema se espera tener la fecha de entrega de cada componente y la cantidad a necesitar, expresada de la siguiente manera:

Fecha de entrega: Fecha de entrega del artículo de nivel superior-(Plazo de entrega + plazo de seguridad).

Calculo de necesidades:

$$N = \frac{Q * Numerador}{Denominador} * \frac{100}{100 - R}$$

Donde:

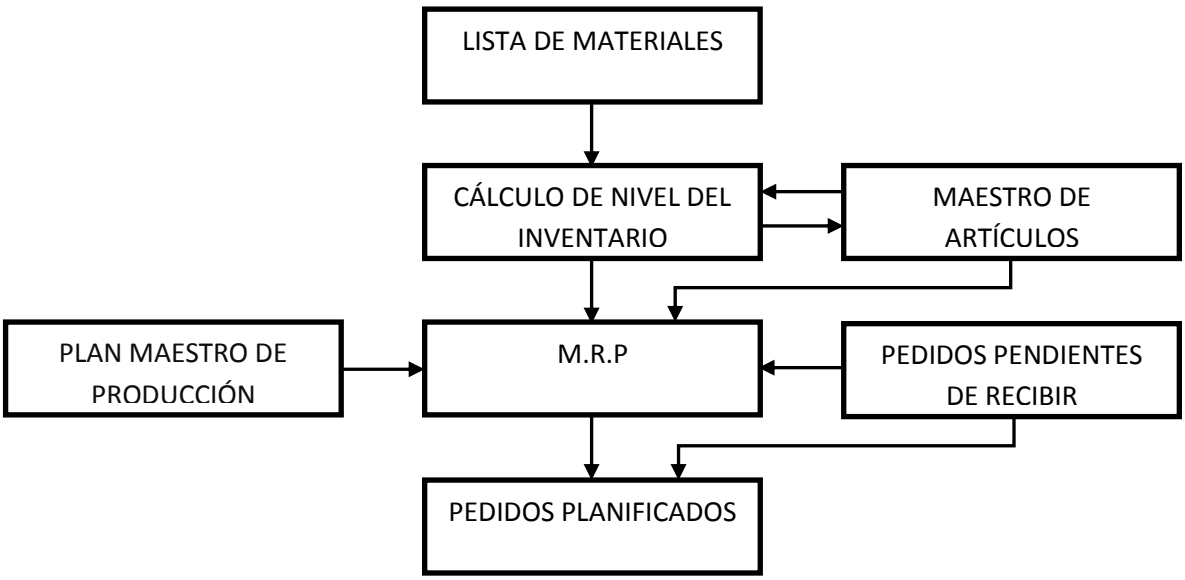
N: *Necesidades de artículo inventariable de bajo nivel.*
Q: *Cantidad de la orden del artículo de nivel superior*.
R: *Ratio de defectos.*

Mientras que el $Numerador/Denominador$ *representa la relación existente entre "padre e hijo", o cuántos componentes son necesarios para formar un artículo de nivel superior.*

La liberación de órdenes es planeada por el MRP según el lead time, cálculo de necesidades y la fecha de requerimiento, la existencia es liberada independientemente de la cantidad de material en el buffer de la siguiente estación de trabajo, El tamaño del buffer no puede ser limitado para una cantidad específica de existencias. La mayoría de restricciones son dadas por el espacio físico en el piso de manufactura. Cuando la estación de trabajo termina el procesamiento de la existencia, está la envía hacia la próxima estación. Este proceso continua hasta que la existencia se convierte en un producto final, Huang M. et al. (1998).

El MRP es un sistema cuyo principio básico es el empuje, esto se puede observar en el hecho que no se busca controlar los niveles de inventario sino únicamente producir para cumplir con una demanda. De esta forma, se parte de un inventario inicial de materias primas o componentes y a través de una producción continua se obtienen los productos finales. Cumplir con la demanda es la verdadera preocupación de un sistema MRP, es decir, mantener un nivel de producción específico, sin importar los movimientos que presente el nivel de WIP (Work in process o Trabajo en Proceso) en la planta. Por lo tanto, en estos sistemas es muy factible tener niveles muy elevados de WIP mientras que los niveles de producción son iguales a los de otros sistemas. Gutierrez (2006).

Figura 1. Metodología Proceso MRP



Fuente: Fuente & Priore (2002)

Finalmente para Pérez D. & Salazar J. (2007) el MRP se encuentra como la metodología desarrollada en donde el objetivo es diseñar un Sistema de Planificación de Requerimiento de Materiales (MRP), para controlar el proceso de producción en la empresa, coordinando las decisiones sobre inventarios, compras y producción que resultan de gran utilidad para evitar las demoras en la producción, fijando fechas límites a los pedidos del cliente, que es de gran beneficio para agilizar el proceso de producción y así brindar un buen nivel de servicio a sus clientes.

3.2. CARACTERÍSTICAS DE LOS SISTEMAS JIT

El sistema pull fue desarrollado como una alternativa del clásico método MRP el cual no se basa en la planificación anticipada ni en la generación de programas, el objetivo es reaccionar ante el pedido final del cliente, aumentando ó disminuyendo los requerimientos de operación para producir únicamente cuando sea necesario y sólo lo preciso para satisfacer la demanda. El sistema pull significa que una operación no hace nada hasta que no lo señale la próxima operación del proceso, es decir, el inicio del trabajo está activado con la finalización de otro, de este modo el sistema funciona mediante sucesivas autorizaciones de producción disparadas por la demanda, Jiménez (2010).

El Justo a Tiempo es percibido de diferentes maneras dependiendo de la perspectiva desde la que se mire. Entre la variedad de definiciones y connotaciones que este concepto ha desarrollado, podemos incluir: "entrega de la cantidad justa en el momento justo; relaciones de trabajo entre proveedor, transportista y usuario con el objetivo común de eliminar todo el exceso de stocks de los almacenes y flujos; un método de fabricación flexible que permite una respuesta rápida ante los cambios imprevistos".

Desde la perspectiva de un transportista el JIT es visto como un sistema de frecuentes entregas en los momentos precisos. Una industria compradora lo vería principalmente como las nuevas relaciones con proveedores exclusivos y reducciones de inventarios. De igual manera, un Director de producción lo vería como un método de fabricación flexible (capacidad de fabricar diferentes productos en lotes relativamente pequeños). Para un fabricante el JIT puede ser visto como una mejora en su sistema de gestión de materiales mientras que sus proveedores pueden verlo como un incremento significativo de los servicios de distribución requeridos.

Por otra parte Benton & Shin (1998) afirman que el sistema de producción JIT se basa en la premisa de minimización de inventario. Para estos autores el éxito del Sistema Toyota se soporta en la nivelación de la producción, la estandarización de operaciones, la reducción de los tiempos de cambio entre lotes, el mejoramiento de actividades, de la distribución en planta y la automatización de procesos, que lo hacen más adecuado en ambiente de manufactura repetitiva.

Entrando ya en la perspectiva de los investigadores en el tema, podemos afirmar que la manera más común de definir al JIT es la siguiente:

"JIT es una filosofía cuyo principal objetivo es que se compre o se produzca el número de unidades que se necesite en el momento en que se necesite para satisfacer la demanda del producto". Bañegil T. (1991).

El JIT, busca que las empresas desarrollen programas nivelados; ello implicaría que la producción y los recursos que se empleen se distribuyan de una manera uniforme a lo largo del tiempo.

Dicho programa no debe dar lugar a grandes series de un único producto, sino a muchas variedades diarias en pequeños lotes, con lo que se conseguirá una rápida adaptación a las posibles variaciones de la demanda.

La programación sólo se entrega al puesto de montaje final, ya que éste, a través de la utilización del sistema *Kanban* pondrá en marcha todo el proceso de fabricación, asegurándose una perfecta coordinación entre todos los puestos de trabajo y facilitando la fabricación sin stocks.

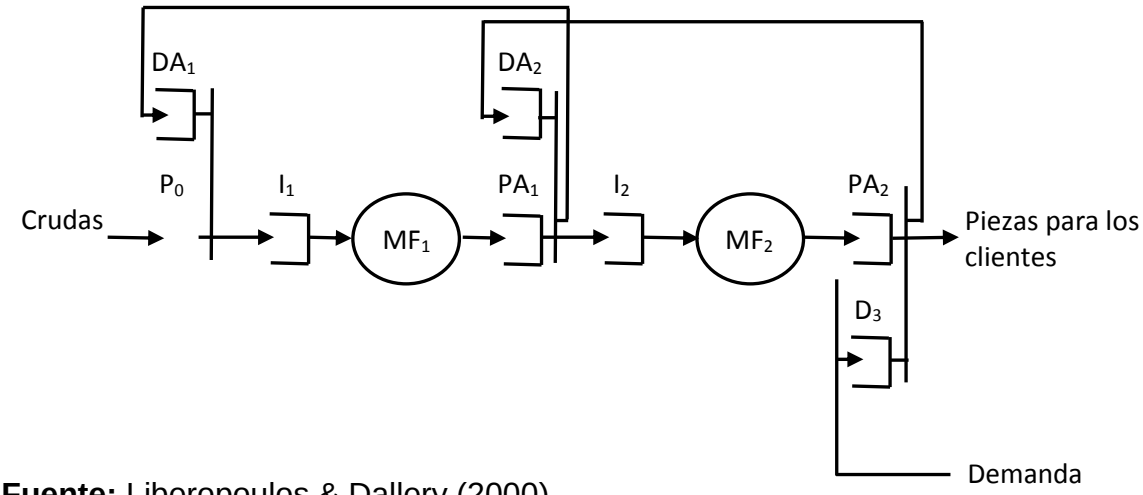
KANBAN

Kanban es considerado como un sistema de control de producción del tipo pull, debido a que su objetivo principal es satisfacer la demanda real del consumidor, al mismo tiempo de minimizar los tiempos de entrega, la cantidad en stock y los costos. Permitir que sea el mercado quien "hale" las ventas, que sea el pedido el que ponga en marcha la producción, y no la producción la que se ponga a buscar un comprador.

Los entornos de producción JIT están caracterizados por el trabajo en pequeños lotes y el control de la producción por medio del sistema de información que se denomina Kanban. En japonés, “Kanban” significa “etiqueta de información”. La etiqueta Kanban contiene información que sirve como orden de trabajo. En otras palabras, es un dispositivo de dirección automático que nos da información acerca de qué se va a producir, en qué cantidad, mediante qué medios y cómo transportarlo. Tamayo & Arquilla (2014).

El funcionamiento del sistema Kanban lo explican Liberopoulos & Dallery (2000). Cada etapa de fabricación "MF_i" tiene un búfer de entrada "I_i" y un buffer de salida "PA_i". Al llegar las tarjetas Kanban se recogen en la cola "DA_i" Kanban. Cada vez que una tarjeta Kanban está presente en DA_{i+1} y el material correspondiente se encuentra disponible en PA_i, el procesamiento de este tipo de pieza se inicia con el lanzamiento en el buffer de entrada I_{i+1} del siguiente proceso. Al mismo tiempo, la tarjeta Kanban se separa del material y es enviada de vuelta a DA_i para reproducir la parte consumida, la demanda de los clientes para los productos finales se comunica por etapas aguas arriba. Lo anterior se puede observar en la siguiente Figura.

Figura 2. Ilustración de un sistema Kanban de dos Estaciones.



Fuente: Liberopoulos & Dallery (2000).

La estación de trabajo o Máquina comienza a producir si y solo si, el inventario disponible en el Buffer, es igual o menor que una unidad. La producción se para cuando el inventario alcance un valor especificado “el número de kanbans”. Así pues el número de kanbans se utilizará como la variable de control del sistema.

Las señales de producción provienen de la necesidad de reemplazar el material que es arrastrado desde el inventario para ser procesado. Cuando llega una señal de arrastre para múltiples partes prácticamente al mismo tiempo, será mejor procesar el material que se utiliza con más rapidez en los centros de trabajo subsiguientes.

El sistema Kanban utiliza señales (tarjetas) para controlar de manera precisa el WIP entre dos estaciones de trabajo. El WIP total del sistema queda limitado por el número total de tarjetas. Sólo se produce en una estación de trabajo cuando la

materia prima está disponible y ésta tiene asociada una tarjeta de autorización de producción.

En este sistema las tarjetas limitan el WIP de cada estación de trabajo, de modo que deberá ser menor o igual que una cierta cantidad definida por el número de tarjetas $k_i \forall i = 1,..., n$. El parámetro fundamental o variable de decisión para cada estación de trabajo, es el número de tarjetas de cada estación k_i. El mecanismo de funcionamiento de una estación Mi, se activará del siguiente modo:

$$M_i activa \leftrightarrow WIP_{it} < k_i$$

Siendo:

WIP_{it} : Trabajo en proceso de la estación i en el instante t
k: Número de tarjetas de la estación i

Para calcular el número ideal de tarjetas del sistema, existen expresiones matemáticas. Una de las fórmulas empleadas para determinar el número de kanbans necesario entre dos procesos consecutivos es la siguiente:

$$N = \frac{D * TE + TM * (1 + \partial)}{P}$$

Siendo:

N: *Número de tarjetas (las de movimiento más las de producción).*
D: *Demanda por unidad de tiempo o nivel de producción diario (nº piezas por día).*
TE: *Tiempo de espera para la primera tarjeta antes de comenzar el mecanizado.*
TM: *Tiempo de mecanizado.*
P: *Número de piezas transferidas en cada contenedor (tamaño lote).*
∂ : *Factor de seguridad (expresado como decimal).*

Pueden existir kanbans adheridos a los lotes de producción o sólo a una unidad de producto, cuando un cliente retira productos de su lugar de almacenamiento, se acciona una orden donde la tarjeta que pertenecía a ese producto vendido viaja hasta el proceso precedente, autorizando la fabricación de uno nuevo para reemplazar el que fue despachado, con el objetivo de reducir el inventario y el tiempo de ciclo.

Se hizo necesario conocer las bases del funcionamiento y características de los sistemas MRP y JIT, puesto que se identifica el fuerte que le aporta cada uno a mejorar los sistemas de fabricación, teniendo en cuenta que el MRP soporta una

buena planeación de materiales y el JIT controla el inventario en proceso manteniendo un orden en la producción, garantizando que se tenga solo lo necesario para el cumplimiento de la demanda.

Igualmente al conocer las características de los sistemas de producción se permite tener una idea más clara del funcionamiento de estos y alcanzar a reconocer de qué manera se pueden integrar por medio de unos factores claves expuestos en el siguiente capítulo, lo cual permitirá entender la propuesta de integración MRP-JIT.

4. METODOLOGÍAS DE INTEGRACIÓN MRP-JIT

En el siguiente capítulo se relacionan los factores claves de integración que soluciona las falencias de emplear los sistemas de producción de forma aislada, igualmente se exponen los casos de integración que se consideraron relevantes bajo una revisión literaria para adecuar la propuesta de integración MRP-JIT con el propósito de cumplir con el segundo objetivo especifico.

4.1. FACTORES CLAVES DE INTEGRACIÓN

El marco de trabajo de Planeación y programación de producción propuesto plantea solucionar el problema de sistemas de inventarios integrando MRP-JIT. El objetivo es conseguir una programación detallada la cual especifique la cantidad para que una operación sea procesada, en qué momento y por cual máquina. El sistema integrado intenta deshacerse de los problemas principales existentes en el MRP y JIT, con la finalidad de tener una mejor planeación, programación y control de la producción, para lo cual se propone identificar las fortalezas del MRP y del JIT que puedan anular las falencias de cada uno.

Abordando las falencias del MRP para Ho & Chang (2001) uno de los obstáculos del MRP es que el lead time debe ser fijo, representando la cantidad de tiempo permitido que tienen las órdenes para ir a través de las instalaciones de producción, tiempo del cual depende la liberación de la orden. Un problema general es la contradicción entre la naturaleza determinista del MRP y la incertidumbre de las operaciones en la que los plazos de entrega reales rara vez pueden predecirse con precisión. Esto conduce por ejemplo a largos plazos de entrega planeados para garantizar las entregas oportunas que provoca altos niveles de trabajo en proceso del sistema y tiempos de entrega largos, Hopp & Spearman (2008).

Un autor que ha tratado con bastante amplitud el tema de las repercusiones que tienen un alto nivel de utilización de la capacidad de producción en el aumento de los lead times de fabricación es Karmarkar (1986), el cual comenta: “el MRP supone que los lead times de producción son conocidos para cada artículo, fijos e independientes del nivel de capacidad con el que funciona la fábrica, del mix de producto y de la actividad de lanzamiento de órdenes, sin embargo se comprueba que los lead time de fabricación no son independientes de todos estos factores, lo cual hace que el MRP no sea efectivo, pues el proceso de lanzamiento de órdenes que de él se desprende no es capaz de conseguir una producción Just-in-time”.

Por consiguiente los lead time de producción de cada artículo van a depender del tamaño de lote seleccionado, ya que la dimensión de lote afecta los fenómenos de congestión y colas alterando por ejemplo la intensidad de tráfico de la fabricación. Para Benton & Shin (1998) un crítico problema del MRP está en la definición de los parámetros reales de producción, tales como el tamaño del lote y plazo de entrega, ya que puede ser determinados o fijos.

Para Karmarkar (1986), un problema con la lógica MRP es que la dependencia de los plazos de producción en condiciones de taller, dimensionamiento de lotes y tiempo de liberación no se reconoce. También, los plazos de entrega son dirigidos de manera exógena como parámetros fijos. Esta incapacidad de MRP a relacionar los tiempos de entrega a las políticas de carga y capacidad de liberación de orden puede conducir a tiempos pobres en proceso de trabajo y en el rendimiento de tiempo de entrega.

Paralelamente se ha identificado que el MRP no produce una programación trabajable para el taller, ya que en el sistema de información simplemente las ordenes especifican las fechas de inicio, por lo tanto no determina el periodo de tiempo exacto y una estación de trabajo para procesar cada operación. Para el caso de las operaciones con limitaciones de capacidad Funk P. (1989) considera que el MRP se focaliza excesivamente en la gestión de materiales, desmeritando el análisis de las herramienta y de la disponibilidad del puesto de trabajo, ambos igualmente indispensables para la fabricación. Igualmente Lainbrecht & Decaluwe(1988) definen el entorno original MRP a menudo con limitaciones de capacidad olvidadas, considerando el análisis del flujo de material separado de la capacidad y del enrutamiento del producto siendo este otro gran tropiezo del sistema MRP.

Según Ho & Chang (2001) el MRP no determina la capacidad dependiendo de qué tan ocupado este el taller, el trabajo puede finalizar antes o después de la fecha planeada por medio del Lead time fijo. Este asume que al momento de liberar la orden el recurso está disponible y puede ser utilizado en el momento en que la orden se libera, la cuestión es que la capacidad de producción no se considera, lo que lleva a programas de producción irrealizables y al aumento de la variabilidad en los tiempos de entrega. Hopp & Spearman (2008)

Para Vollmann, et al. (1992) el sistema MRP no considera ninguna restricción de capacidad. Básicamente, todos los problemas de capacidad posibles deben absorberse por el establecimiento apropiado de los tiempos de entrega. Este hecho fue considerado como una gran desventaja, lo que condujo a la evolución hasta el MRP de Bucle Cerrado y a los sistemas MRP II que finalmente incurre en otras falencias por mantener el sistema MRP como el motor conductor de los programas de producción a nivel operativo.

De tal forma, uno de los mayores inconvenientes que presentan los sistemas MRP es la consideración de capacidad infinita, que implica pasar por alto la capacidad utilizada y los recursos disponibles en la generación de la programación de las órdenes planeadas.

Por otro lado Hopp & Spearman (2008) opinan que una vez la orden de producción es liberada hacia el área de trabajo, ésta se empuja a través del sistema tan rápido como sea posible sin importar si hay demanda desde las operaciones descendentes, lo que provoca cantidad de inventario en proceso estancado en los recursos cuellos de botella.

Según Ho & Chang (2001) algunos de los problemas asociados con el inventario incluyen altos costos de transporte, riesgos de obsolescencia y esconde los problemas subyacentes en producción, incluyendo calidad. Generalmente el grado de los problemas de inventario se intensifica conforme la totalidad del inventario se incrementa. Por ejemplo, los bienes finalizados (automóviles) son más caros de manejar que los materiales crudos (vidrio y metal), y estos tienen una oportunidad mucho mayor de quedar obsoletos que los materiales crudos. Además, es más deseable mantener materiales crudos o WIP en sus etapas iníciales que el WIP de la última etapa por la misma cantidad de tiempo.

Finalmente algunos de los investigadores como Huq & Huq (1994) señalan la acumulación de inventario de trabajo en proceso como un importante inconveniente del sistema MRP. Sin embargo, este problema puede ser causado por tamaños de los lotes definidos y no por el sistema MRP en sí mismo.

Para intentar intervenir en las falencias del MRP se abordará a continuación las bondades del JIT en un sistema productivo, un beneficio es aumentar la producción sin incrementar las unidades de trabajo. El sistema mostró que, sobre bases de racionalización y ajuste, y dentro de las nuevas interacciones de la flexibilidad, podía aumentar la productividad del trabajo sin recorrer el viejo camino fordista de aumentar el “trabajo repetitivo”. Las técnicas JIT sugieren ajustar el lead time y tamaño de lotes más cortos.

Según HaynsworthH. C. (1984) el JIT permite flexibilidad de fabricación por medio de la mejora de tiempos de preparación de la maquinaria, la consecución de una disminución en este tiempo hará que la fabricación en pequeños lotes no sea tan costosa, que se pueda aminorar inventarios y que se aumenta automáticamente la flexibilidad del sistema al manejar lotes de producción ajustados. El inventario del ciclo promedio es igual a la mitad del tamaño del lote: A medida que el tamaño del lote se hace más pequeño, también lo hace el inventario del ciclo. La reducción de

inventario del ciclo reduce el tiempo y el espacio para la fabricación, los pequeños tamaños de lote ayudan a reducir los plazos de entrega.

El sistema de producción JIT controlado con Kanban se ha fundado con base en la premisa de minimizar los inventarios de trabajos en proceso mediante la reducción o eliminación de los lotes discretos. Para Benton & Shin (1998) los lotes grandes consumen grandes cantidades de tiempo de procesamiento en las estaciones de trabajo y, por tanto, complican la programación, los lotes pequeños se pueden manipular más eficazmente, permitiendo a los programadores utilizar las capacidades más eficientemente. Además, los pequeños lotes permiten fluidez en las estaciones de trabajo para dar cabida a la producción del modelo mutiproducto al reducir los tiempos de espera para la línea de producción.

Los tamaños de los lotes reducidos no sólo contribuyen a la eficiencia de la producción y la calidad del producto, sino que también reducen los costes generales relacionados con la producción en el entorno de fabricación JIT, Benton & Shin (1998).

Por otro lado Funk P. (1989) afirma que en un sistema de producción JIT se asegura la disponibilidad de las máquinas para ser lanzada una orden de producción, por ende se debe conocer de antemano la estación de trabajo para procesar cada operación, por medio de un enrutamiento del producto que en la mayoría de los casos es linealizado para mayor flujo de producción.

Según Ho & Chang (2001) la finalidad del JIT es mejorar la capacidad de una empresa para responder económicamente al cambio. El JIT señalará y dará prioridad a los flujos de la empresa que bloqueen la capacidad de la compañía para responder al cambio rápida y económicamente, teniendo en cuenta la capacidad y disponibilidad de los recursos en un horizonte de tiempo.

Para Champan Stephen N. (2006) el JIT considera las existencias como un problema en sí mismo, que es necesario gestionar y en consecuencia reducir lo mínimo posible, no solo por el obvio desperdicio de capital, sino también para volverse más competitivos en muchos aspectos, en particular en el tiempo de entrega.

Para ello citan La ley de Little que es una relación que vincula el inventario y el tiempo de la siguiente forma:

$$I = R * T$$

Donde:

R: *Tasa de producción.*
T: *Tiempo del periodo de producción.*
I: *Inventario.*

La tasa de producción R, normalmente no se puede alterar. Por tanto, en el caso de ser R constante en cierta operación, la ley muestra la relación directa entre el inventario y el tiempo durante el período de producción. Esto significa que una reducción importante en el inventario, supondría una mejora en T, aumentando la velocidad de entrega.

El sistema funciona mediante sucesivas autorizaciones de producción, disparadas por la demanda. Controlando así el proceso productivo mediante las operaciones físicas del área de trabajo, lo que significa menor inversiones en inventarios. Dado que el sistema sólo requiere la menor cantidad de material necesario de inmediato, reduce sustancialmente el nivel general del inventario.

Igualmente Luna C. (2002) opinan que para Lograr reducir inventarios y producir el artículo correcto en el tiempo exacto y con la cantidad adecuada se requiere de información acerca del tiempo y volumen de requerimientos de producción de todas las estaciones de trabajo, por lo tanto el sistema demanda la base de datos de estándares de producción y la hoja de ruta de los productos.

Finalmente para Marín F. & Delgado J. (2000) en un sistema pull el consumo de material necesario para un proceso, desencadena la reposición por el proceso precedente, con lo que únicamente se reemplaza el material consumido por el proceso posterior, lo que provoca niveles de inventario óptimos y estables.

Tabla 2. Bondades del JIT que contrarresta las falencias del MRP.

Autores	**Falencias MRP**	**Bondades JIT**	**Autores**
Ho & Chang (2001) Hopp & Spearman (2008). Karmarkar (1986) Benton &Shin (1998)	Grandes Lotes de Pedido y Lead Time Fijos	Lotes Óptimos Ajustados y Lead Time Variables	Haynsworth.H.C. (1984). Benton &Shin (1998).
Funk P. (1989) Lainbrecht & Decaluwe,(1988).	Programación no Detallada	Programación Detallada	Funk P. (1989)

Ho & Chang (2001) Hopp& Spearman (2008)	Capacidad Infinita	Análisis de Capacidad Finita	Ho & Chang (2001)
Hopp& Spearman (2008) Ho & Chang (2001) (Huq&Huq, 1994)	Alto Inventario en Proceso	Bajo Inventario en Proceso	Champan Stephen N. (2006) Luna C. (2002) Marín F. &Delgado J. (2000)

Fuente: Elaboración propia.

Paralelamente algunos autores recalcan que un sistema bajo filosofía JIT presenta falencias al responder al mercado en los picos de demanda.

Al querer identificar las falencias del JIT, Champan Stephen N. (2006) menciona que en los sistemas de producción se sufren consecuencias inapropiadas cuando los picos de demanda exceden a la cantidad que un sistema Kanban puede manejar normalmente, por lo cual el sistema kanban tiene falencia en los momentos que la demanda proyectada se exceda. Para Vaibhav Jha (2012) no hay stock de seguridad para compensar la demanda prevista inexacta. La producción JIT es eficaz sólo cuando las demandas diarias son bastante estables. Un sistema de producción JIT requiere un flujo uniforme de mercancías a través del sistema para lograr una buena coordinación de las diferentes operaciones y la circulación de bienes y materiales desde el proveedor hasta el resultado final. Por lo tanto, el sistema Kanban es más adecuado para las empresas que producen productos repetitivos .

Para solucionar la falencia del JIT respecto a la respuesta de picos de demanda Champan Stephen N. (2006) menciona la importancia de un sistema de pronóstico efectivo, planificación de ventas y operaciones y el uso del sistema MRP, a la hora de manejar los picos de demanda, pues se pueden predecir tanto en tiempo como en cantidad, esto permite que la empresa ingrese material extra al sistema en el momento adecuado para cubrir tales picos, mejorando así las respuestas a la demanda del mercado.

A continuación se citan los beneficios que Pérez D. & Salazar J. (2007) rescatan del MRP ya que estos pueden ser utilizados en el sistema integrado:

- La posibilidad de estar al tanto de las necesidades de materiales.
- La capacidad de evaluar las necesidades generadas por el MPS.

Según Wong & Kleiner (2001) lo interesante del proceso del MRP reside en su capacidad para llevar a cabo la planeación de prioridades a través de una reprogramación de la demanda. Esto reduce el número de lanzamientos de órdenes de compra, al prever cuando va a existir una escasez de materiales y permite así un aumento en el rendimiento global de producción. También aportan que el beneficio del MRP es la capacidad de identificar los productos que realmente se va a producir y crear órdenes de compra y de producción para estos.

Para Fuente & Priore (2002) La función de un Sistema Integrado de Planificación de Inventarios de fabricación con MRP consiste justamente en traducir el Plan Maestro de Producción, en necesidades y ordenes de fabricación de todos los productos que intervienen en el proceso productivo.

Tabla 3. Bondades del MRP que contrarresta las falencias del JIT.

Autores	Falencias JIT	Bondades MRP	Autores
Champan Stephen N. (2006 Vaibhav Jha (2012)	Baja Respuesta a Picos de Demanda	Óptima Respuesta a Picos de Demanda	Champan Stephen N. (2006) Perez D. & Salazar J. (2007) Wong & Kleiner(2001)

Fuente: Elaboración Propia.

El sistema integrado debe incorporar el elemento de control-pull de la programación de operaciones del JIT en el MRP, por lo tanto los beneficios del MRP y los del JIT se convierten en los factores claves de integración. Las entradas del MRP y del JIT que beneficien el sistema de producción serán las variables de entrada para el sistema de integración.

En general como resultado de la revisión bibliográfica se puede decir que un sistema de control de producción efectivo es aquel que produce las partes correctas, en el momento correcto y a un costo competitivo, Huang M. 1998). Por tal motivo se destacaran los factores claves de integración de ambos sistemas siendo estas las entradas del sistema hibrido que permitirá un método efectivo:

- Tamaños de lotes ajustados.
- Lead time ajustados o tiempos de configuración.
- Base de datos de estándares de producción o tiempo de procesamiento.
- Hoja de Ruta del Producto.

- Lista de Materiales.
- Demanda Independiente-Plan Maestro de Producción
- Capacidad de la planta.
- Registro de Inventarios.
- Tamaño de contenedor.
- Nivel de WIP.
- Número de tarjetas o contenedores de control de producción óptimo.

Estos factores claves identificados son el resultado de la revisión bibliográfica y serán debidamente utilizados para la propuesta de integración MRP-JIT, teniendo de alguna forma un enfoque más claro de integración.

A continuación se destaca el sistema de control CONWIP como una manera de integrar el MRP-JIT pero sobre todo como la forma apropiada para expresar la filosofía JIT en cuanto al control de inventario en proceso que será adecuado para ser integrado con el sistema de producción MRP.

CONWIP

El sistema de control de la producción CONWIP (Constant Work In Process) fue introducido por Spearman et al (1990) tras realizar una búsqueda de un nuevo modelo de sistema pull superior al Kanban en cuanto a la flexibilidad y aplicabilidad en diferentes situaciones, terminaron proponiendo el sistema CONWIP, el cual es un sistema de tipo pull muy similar al sistema Kanban, ambos emplean tarjetas para controlar el inventario en proceso manteniéndolo constante.

Desde sus inicios del sistema CONWIP, ha sido estudiado desde el punto de vista de su funcionamiento en determinados entornos, frente al exhibido por otros sistemas de control de la producción tales como MRP y Kanban. Roderick et al (1992) realiza un estudio donde compara el sistema CONWIP y MRP, en el cual se concluye la superioridad del sistema CONWIP demostrando que desarrolla un menor inventario y mantiene la misma tasa de producción que el MRP.

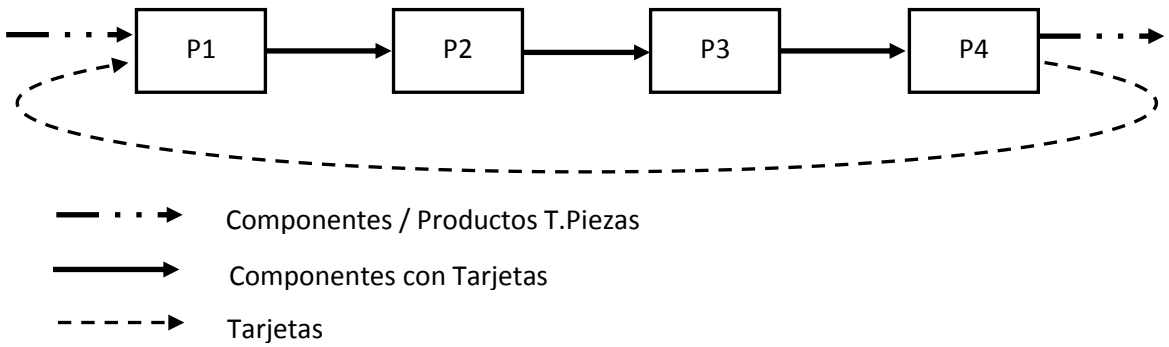
La disciplina de trabajo del CONWIP es pull en la última operación del sistema productivo, o sea; donde sale el producto terminado, una vez se entrega el producto éste autoriza la entrada de materiales a la primera operación del sistema. De allí en adelante, la disciplina es push, es decir, las órdenes se van empujando a lo largo del proceso hasta llegar a la operación final.

El CONWIP reconoce las ventajas del *MRP* como sistema de información y lo utiliza como tal. El control de entrada de los materiales se hace en la primera operación, para evitar que la línea de producción se quede sin materiales se permite una reserva o *buffer* de productos en la primera operación, Blanco et al. (2006).

Para Rubiano (2004) el sistema CONWIP funciona de la siguiente manera:

Al comenzar la producción, todas las tarjetas disponibles se localizan al comienzo de la línea (en un casillero de tarjetas). Al llegar órdenes, si hay suficientes tarjetas disponibles en el sistema, las tarjetas necesarias se adhieren a éstas y juntas se desplazan a través de la línea de producción. Cuando la orden se procesa completamente en la línea, y sale del último centro de trabajo, la tarjeta es removida y enviada al comienzo de la línea. Ninguna orden puede entrar en la línea sin habérsele asignado tarjetas, es decir, si llegan órdenes y no hay tarjeta libre, las órdenes se acumulan como ordenes pendientes, de donde se descargarán a medida que se liberan tarjetas por concepto de órdenes terminadas. Se establecen búferes intermedios entre dos estaciones consecutivas, gestionados por una disciplina PEPS (primero en llegar, primero en ser servido).

Figura 3. Proceso CONWIP.



Fuente: Elaboración Propia.

El enfoque push se aplica porque el producto cuando entra en la línea se desplaza sin restricciones, por otro lado cuando la tarjeta retorna a la máquina inicial del sistema y autoriza al material para entrar al proceso, es cuando el enfoque se interpreta como pull.

Para Framiñán *et al*. (2002) el sistema CONWIP emplea tarjetas para controlar el nivel de inventario en proceso. Las tarjetas son asignadas a cada pieza al comienzo de la línea. Cuando la pieza es procesada en la última estación, la

tarjeta es liberada para ser de nuevo enviada al comienzo de la línea, donde será asignada a otra pieza para ser procesada. Ninguna pieza puede entrar en la línea sin que esté acompañada de su tarjeta.

El parámetro fundamental del sistema CONWIP es el número de tarjetas, respecto a este parámetro existen dos cuestiones a tener en cuenta según Framiñán et al. (2003):

- Establecimiento de tarjetas; es decir, dadas unas ciertas condiciones de producción, emplear un procedimiento para establecer el número de tarjetas que hace que el funcionamiento del sistema sea aceptable de acuerdo a algunas medidas de funcionamiento predefinidas. El número de tarjetas obtenido mediante este procedimiento se asume fijo para el intervalo de decisión.

- Control de tarjetas; es decir, definir las reglas que indican al sistema cuando mantener o cambiar el número actual de tarjetas, dependiendo de ciertos eventos (tales como cambios en la tasa de demanda o exceso del nivel de inventario) que tienen lugar en el escenario de producción.

En general, la cantidad de tarjetas que debe poseer el sistema se suele determinar por la capacidad del mismo. El número de tarjetas en el sistema CONWIP se puede estimar con una sencilla fórmula matemática. Hopp & Spearman (2000) determinan una a partir de la cual se puede estimar el número de tarjetas necesario para controlar un sistema CONWIP. Se define TH (Througput: Capacidad de Producción) como una función del número de tarjetas (w).

$$TH(w) = \frac{w * rb}{w + W_0 - 1}$$

Siendo:

w: *Número de tarjetas.*

rb: *Tasa del cuello de botella en trabajos por minuto.*

W_0: *Nivel crítico de WIP de la línea, con un máximo TH operando al ratio cuello de botella.*

$$W_0 = rb * T_0$$

T_0: *Suma de los tiempos medios de proceso en las estaciones de trabajo, sin tener en cuenta la variabilidad de los tiempos de proceso, paradas de la máquina y fallos en la planificación o cadena de suministros.*

Utilizando la fórmula de Spearman & Hopp (2000), y despejando *w*, se obtiene el número de tarjetas que necesita el control de CONWIP. Si el número de tarjetas que se obtiene es decimal, habrá que redondear al entero más cercano. Es entonces que un CONWIP consiste en una tarjeta que simplemente acompaña al producto y que representa un determinado número de unidades de producto. Por ejemplo, 1 CONWIP = 1 estiba de 1000 unidades.

La ventaja del sistema CONWIP, se basa en la relajación de las condiciones de trabajo, al no controlar los inventarios parciales como Kanban, sino solo el inventario total. Se puede decir, que el objetivo de este sistema es combinar los bajos niveles de inventario del sistema Kanban con las elevadas salidas de los sistemas push.

El sistema CONWIP se fundamenta en el mismo principio de funcionamiento de la filosofía del JIT que comenzó al verse la necesidad de controlar los flujos productivos de manera más precisa.

El CONWIP se puede definir como un sistema de control de producción cerrado, que controla la cantidad de materiales que ingresan al sistema y únicamente permite una cantidad constante de materiales en proceso dentro del sistema, que en una línea balanceada equivale a un producto en proceso en cada máquina o estación de trabajo. Una vez el sistema se llena, únicamente se permite entrada de materiales al sistema cuando se produzca una salida de producto terminado del sistema.

El método JIT señalará y dará prioridad a los flujos de la empresa que bloqueen la capacidad de la compañía para responder a los cambios rápidos, ya que una vez se hacen visibles todos y cada uno de los flujos críticos, el método JIT fuerza a emprender acciones sobre ellos, es por este mismo motivo que el CONWIP se fundamenta en la filosofía JIT, logrando así definirse como una técnica para implantar el JIT en una empresa, puesto que el JIT y el CONWIP consideran las existencias como un problema en sí mismo, que es necesario gestionar y en consecuencia reducir lo mínimo posible.

El objetivo del JIT es reaccionar ante el pedido final del cliente, aumentando ó disminuyendo los requerimientos de operación para producir únicamente cuando sea necesario, sólo lo preciso para satisfacer la demanda e igualmente en el CONWIP los materiales entran al sistema solo cuando existe demanda siguiendo los principios de la filosofía JIT.

Los sistemas de planeación de la producción que tienen como punto de partida o de arranque al consumo, poseen la magia del control de inventarios. Tanto el sistema *JIT* como el CONWIP autorizan la producción sólo cuando se produce una demanda de producto terminado y mantienen acotados los inventarios, utilizando herramientas como el inventario en proceso crítico.

4.2. METODOLOGÍAS DE INTEGRACIÓN EXISTENTES

Algunos investigadores como Chapman & Stephen (2006) expresan que pocos entornos de producción reúnen las condiciones para ubicarse en uno u otro extremo (sistema push o sistema pull). Lo que complica todavía más este asunto es que la mezcla de mercados y los entornos de producción de muchas empresas de manufactura dificultan la selección de un sistema “puro”. En consecuencia, numerosas organizaciones han desarrollado sistemas “híbridos” que les permiten aprovechar ciertos factores y fortalezas de ambos tipos de sistemas dependiendo de sus entornos.

Geraghty & Heavey (2005) definen que "un sistema de producción híbrido podría caracterizarse como un sistema de producción que combina elementos de las dos filosofías con el fin de minimizar el inventario y desenmascarar fallas en el sistema, manteniendo al mismo tiempo la capacidad del sistema para satisfacer la demanda".

Entre los trabajos que se han desarrollado sobre los métodos de planificación y control de la producción con sistemas híbridos se puede observar aquel realizado por Spencer M. (1994) en el cual afirma, que la combinación del JIT, MRP y otros enfoques, permite a las empresas seleccionar métodos que se ajustan mejor a las características únicas de su entorno de producción. Este autor realizó un estudio de los sistemas de planificación y control de la fabricación de seis plantas de producción repetitiva, que pertenecen entre otras, a las empresas Motorola, Carrier, John Deere y Verbatim. En las conclusiones señala que en ninguno de los casos estudiados JIT funciona aisladamente, es decir, sin elementos de MRP. El MRP proporciona según este autor, las condiciones para que los métodos JIT puedan ser utilizados con éxito. Una técnica no reemplaza a la otra, y ambas requieren la utilización de técnicas de gestión adicionales.

Para Pun et al. (1998) hay muchas empresas industriales que operan en un entorno que denominan híbrido (mezcla de producción intermitente y repetitiva), en el que el empleo únicamente de MRP o de JIT no es factible. Elementos de ambas técnicas pueden cooperar en una plataforma integrada puesto que tienen

sinergia. Según estos autores, es ventajoso integrar las características dinámicas de JIT en la disciplina de MRP para cerrar el bucle entre el funcionamiento de la planta y los procesos de planificación de mediano y largo plazo.

Mediante una revisión literaria se encontró que la integración entre los sistemas de producción MRP y JIT se genera de manera horizontal y vertical, para Rivera, F. & Durán, A. (2003) el sistema combinado MRP-JIT horizontal permite gestionar flujos de materiales en los que algunas características relevantes presentan valores cualitativamente diferentes en distintas zonas del flujo. El sistema combinado MRP-JIT vertical tiene módulos de planificación MRP y módulos de ejecución JIT y permite gestionar flujos de materiales con distintas necesidades de control detallado en distintos niveles jerárquicos del sistema de planificación y control de la fabricación. Por tanto, la distinción entre un sistema combinado MRP-JIT horizontal y vertical se encuentra en que las técnicas MRP y JIT se apliquen a distintos tramos del flujo (sistema MRP-JIT horizontal) o en distintos niveles jerárquicos (sistema MRP-JIT vertical).

Sistemas de control de producción híbridos integrado Vertical (VIHS)

El VIHS consiste en dos niveles, por lo general una estrategia de gestión de producción del tipo push en el nivel superior y una estrategia de gestión de producción del tipo pull en el nivel inferior. En otras palabras, el VIHS utiliza MRP para la planificación de largo alcance y JIT para la ejecución de la planta.

Una de las primeras contribuciones en este campo proviene de Hall (1986), el cual presenta el sistema Synchro MPR que se implementó en las plantas Yamaha. El Synchro MRP combina un sistema MRP clásico con bucles con tarjetas Kanban en todos los procesos consecutivos. Cada paso del proceso solo es autorizado para producir si una orden de producción MRP y una tarjeta Kanban están presentes en la variante específica.

Este es operado en diversas factorías de la firma Yamaha, el cual mezcla el sistema MRP y Kanban ajustado al entorno de producción de motocicletas en donde existen dos departamentos de producción; uno que funciona como taller y otro que realiza fabricación repetitiva.

En el sistema Synchro-MRP de Yamaha integra los dos tipos de procesos mediante un control de producción de cada centro de trabajo utilizando tarjetas Kanban de transporte y producción, nombradas SINNCHRO I y SINNCHRO II respectivamente, este sistema funciona similar al Kanban puro, pero ahora existe un control más estricto para tomar decisiones, ya que deben existir tres condiciones para poder fabricar:

- La correspondiente orden de MRP.
- Material disponible del proceso precedente.
- Tarjetas de Sinchro II de producción en la tabla de producción.

Consecuentemente Suri R. (1998) desarrolló un sistema similar “sistema de Control POLCA”, el sistema POLCA enmarca un sistema MRP central que determina la fecha de inicio de cada orden de producción en todos los procesos de programación regresiva y las tarjetas Polca giran entre dos procesos consecutivos y autorizan la producción sólo si la fecha de inicio de una orden de producción es alcanzada, y si una tarjeta Polca del proceso subsecuente está presente, con lo cual la orden de producción es ejecutada.

Un enfoque diferente es tomado por Bertrand & Wortmann (1981) en su sistema llamado "control de la carga de trabajo", el cual corresponde a un sistema MRP de alto nivel que genera una lista de órdenes de producción priorizada. Para cada proceso el sistema mantiene un reporte y un umbral de carga de trabajo, el reporte de carga de trabajo contiene la carga de todas las órdenes del sistema que necesitan pasar por este proceso. Una orden de producción sólo es soltada en el sistema si en cada proceso el pedido que tiene que pasar no excede el lumbral de carga de trabajo, mediante este mecanismo el sistema establece una característica de tracción y limita el WIP total.

Además de la investigación anteriormente mencionada, se destaca para la ejecución de este proyecto la integración vertical entre los sistemas de producción MRP-JIT por medio de las consideraciones de los siguientes autores, ya que Maskell B. (1989) afirma que MRP es esencialmente una herramienta de planificación y que JIT proporciona un método excelente para el control diario de la planta, por lo tanto el MRP y JIT se complementan. El punto fuerte de MRP está en las actividades de planificación de materiales y de la producción, mientras que el punto fuerte del JIT está en la ejecución de técnicas de fabricación con poco inventario. Los puntos débiles de JIT en la planificación a medio y largo plazo, especialmente en entornos no repetitivos pueden resolverse con el uso de un sistema MRP efectivo.

Por su parte Lee (1993) propone un sistema combinado que utiliza la explosión de materiales con los cálculos en fase de tiempo de un sistema MRP y el sistema pull del JIT. Este sistema tiene dos niveles: un nivel de planificación, en el que se aplican técnicas MRP, y un nivel de ejecución, en el que se aplican técnicas JIT, en donde se concluye que el número diario de kanbans empleado en la planta está calculado por el sistema MRP.

Sistemas de control de producción híbridos integrado Horizontal (HIHS)

El HIHS consta de un nivel, donde algunas de las etapas de producción son controladas por MRP y otras etapas por el JIT. Este tipo es más adecuado para los procesos de producción de múltiples etapas.

El sistema híbrido horizontal desde el punto de vista de Wang (1991), apareció como una estrategia superior que contiene un grupo de controladores descentralizados complementado con un coordinador centralizado. Los controladores individuales tuvieron la capacidad de ajustar sus situaciones de inventario para satisfacer la demanda local, pero la oferta de su material fue controlada en parte por el ordenador central.

El sistema combinado MRP-JIT horizontal permite gestionar flujos de materiales en los que algunas características relevantes presentan valores cualitativamente diferentes en distintas zonas del flujo. Monden (1994) afirma que el MRP puede ser más apropiado que el JIT para gestionar la producción de materiales con series cortas, para los que es difícil nivelar la producción, la utilización del MRP para la gestión de estos materiales en una planta que gestiona el resto de materiales con el JIT, constituye un sistema combinado MRP-JIT horizontal.

En el caso del sistema combinado horizontal, la dificultad está en la relación entre los materiales MRP y JIT, es decir, en la trasmisión de necesidades y la realización de transacciones de inventario entre materiales de distinto tipo. En el sistema combinado vertical, la problemática está en la transmisión de información entre los módulos de distintos sistemas de gestión. En consecuencia varias organizaciones han desarrollado sistemas “híbridos” que les permiten aprovechar ciertos factores y fortalezas de ambos tipos de sistemas.

Champan Stephen N. (2006) describen brevemente algunos de los sistemas que se han utilizado con éxito.

Sistema híbrido #1: MRP con principios de producción esbelta

A medida que nos alejemos de los entornos muy volátiles en donde el sistema MRP se adapta muy bien, comenzaremos a percibir cierta “relajación” de la volatilidad. Los patrones de demanda empezarán a ser más estables, y los cambios de diseño serán menos frecuentes y radicales. En este sistema sigue existiendo un nivel de volatilidad que demanda planificación y ejecución mediante MRP, pero como resulta evidente que habrá cierto grado de estabilidad, quizá podamos utilizar algunos de los principios de la producción esbelta. La reducción de configuraciones para disminuir los tamaños de lote y las inversiones en

inventario pueden comenzar a tener sentido aquí, así como algunos de los cambios en la distribución y la creación de relaciones con los proveedores, mismos que pueden aportar grandes beneficios en tiempo, costo y calidad.

Sistema híbrido #2: Kanban con planificación MRP

Este sistema utiliza la lógica MRP, de una forma que permite realizar con eficacia cambios planificados en el diseño, y proporciona, al mismo tiempo, algunos de los beneficios de los sistemas pull. Tiende a utilizarse donde se presenta alguna mejoría en la volatilidad de la demanda. Este método se basa en programar el sistema MRP para que tome en cuenta un periodo específico (de 2 a 3 semanas, por ejemplo), para determinar el componente de demanda total durante el mismo y calcular el número de tarjetas Kanban requeridas con la siguiente fórmula:

$$y = \frac{DT\ (1 + x)}{C}$$

Donde:

y : *Número de tarjetas kanban*
D: *Demanda por unidad de tiempo*
T: *Tiempo de espera para reemplazar el contenedor*
x: *Factor de seguridad (expresado como decimal; por ejemplo, 0.20representa un factor de seguridad de 20%)*
C: T*amaño del contenedor (cantidad de piezas que contiene).*

El sistema arrojará dos resultados principales para ese periodo: una impresión del número de tarjetas Kanban calculado y una lista estándar de despacho (el producto normal de los sistemas MRP).Tanto la lista de despacho como las tarjetas Kanban impresas se envían al centro de trabajo, que está autorizado para producir una parte sólo si existe una tarjeta Kanban disponible y si el número de partes se encuentra en la lista de despacho. Consideremos por separado cada uno de los dos escenarios:

- El número de artículo se encuentra en la lista de despacho, pero no hay una tarjeta Kanban disponible. En este caso se sabe que la parte se necesitará (ya que está en la lista de despacho), aunque el hecho de que no haya una tarjeta Kanban disponible indica que la parte no ha sido utilizada aún. Producir la parte sin una tarjeta Kanban “libre” sólo dará lugar

a un exceso de inventario antes de que sea necesario, en algunos casos en detrimento de otra parte que se necesite.

- Hay una tarjeta Kanban disponible para el artículo, aunque la parte no esté señalada en la lista de despacho. En este caso, la parte está siendo utilizada, como lo indica el hecho de que hay una tarjeta Kanban disponible. Sin embargo, si se está realizando un cambio de diseño en la parte, aquellas unidades de la misma que se hayan producido con el diseño anterior deberán eliminarse gradualmente para impedir el inventario obsoleto. Ésta es la razón por la que no aparece en la lista de despacho: a pesar de que se está utilizando el diseño antiguo, no se debe reemplazar.

Sistema híbrido #3: Uso de MRP para la capacidad y para artículos con tiempos de espera amplios

Este sistema tiende a utilizarse donde el diseño del producto es relativamente estable, pero los patrones de demanda siguen siendo muy volátiles como para permitir el uso de un sistema pull puro. Si fueran demasiado volátiles, tendría que utilizarse el sistema #1, pero como son fluidos se puede considerar este sistema. En él se emplean controles pull de la producción (como Kanban) en conjunto con el sistema MRP para planificar tres aspectos de la producción:

- Artículos con tiempos de espera amplios: Es posible que el reemplazo de algunas partes, en especial aquellas que se compren a terceros, exija una cantidad de tiempo excesiva. Si la demanda es errática, es probable que un sistema pull puro (el cual supone una frecuencia de reemplazo muy estable) ocasione problemas de desabasto. El sistema MRP puede proyectar la necesidad de estos artículos y alertar a los proveedores acerca de la cantidad apropiada de reemplazo.

- Requerimientos de capacidad: Al cambiar la demanda y la mezcla de demanda, podrían necesitarse diferentes niveles y distintos tipos de capacidad. El sistema MRP se puede utilizar para planificar dichas planificaciones.

- Número de tarjetas Kanban: Por una parte, la demanda impactará el número de tarjetas Kanban necesarias para el sistema. El sistema MRP puede proyectar la demanda que tendrá cada componente a lo largo de un periodo específico, lo que permitirá calcular el número de tarjetas Kanban necesario para satisfacerla.

Por otro lado se expone los sistemas híbridos de integración propuestos por Karmarkar (1986):

Sistemas Push Global y Pull por Celulas

Este sistema es propuesto por Karmarkar (1986) por medio de un enfoque Kanban a nivel de célula de fabricación y un control global a nivel de planta mediante el MRP. El papel que juega el MRP es de señalar a cada célula las necesidades de fabricación futuras mientras que interiormente se gestionan mediante un sistema Pull de tarjetas. En decir; el MRP calcula las necesidades brutas de cada ítem y submontajes, pero no las necesidades netas. Las necesidades brutas para una determinada célula durante el lead time que le estima el MRP se iguala al número de tarjetas total existente (en cola + en proceso + en inventario final).

En una situación de equilibrio ideal, con un inventario inicial compuesto por las necesidades de fabricación brutas de una determinada célula durante su lead time, bastaría con este número de tarjetas para poder producir durante el siguiente lead time las nuevas necesidades, igualándose el inventario de productos finales a cero cada vez que éste se incorporase a la línea de montaje. En una situación normal, habrá que prever una determinada cantidad de inventario para proteger las oscilaciones de los lead times, lo cual hará que las necesidades brutas sean algo mayor al consumo que ejerce la línea de montaje y que existe generalmente un inventario de productos acabados en la célula.

Ahora bien, el inventario que soporta cada célula, y por lo tanto el número de tarjetas Kanban que hay en ella, queda controlado por el supervisor de la célula, que podrá así disminuir el número de Kanbans en función al inventario acumulado de productos finales del centro de trabajo. En este caso el supervisor no estará haciendo otra cosa que ajustando el valor del lead time supuesto por el sistema MRP al lead time real.

Sistema Pull en Fabricación y Push en Aprovisionamiento

Karmarkar (1986) aporta también el sistema Hibrido de fabricación donde las etapas que pueden soportar unos lead times más largos pueden estar gestionados por un sistema Push como el MRP, mientras los que soportan lead time predecibles y cortos quedan bajo el control del sistema Pull. Este autor lo explica con un ejemplo donde menciona una compañía dedicada a la fabricación o

montajes de piezas cuyas materias primas y componentes se compran en diferentes lugares. Los tiempos de aprovisionamiento considerados para las materias primas son largos, pues son compradas en lugares muy lejanos, mientras que algunos componentes que se encuentra en las ciudades vecinas a la fábrica tienen unos tiempos cortos y conocidos. La mejor manera de enfrentar este caso sería utilizar un sistema push de generación de órdenes de compra de las materias primas de largo aprovisionamiento mientras que se utilizaría un enfoque pull para incorporar a la línea de montaje los componentes cercanos.

Con este sistema se busca crear la suficiente flexibilidad para adaptar la programación de las etapas finales de montaje a corto plazo sin necesidad de tener que procesar de nuevo el MRP cada vez que sea necesaria la realización de pequeños cambios.

Otra propuesta de integración entre las dos filosofías está planeada por Katsuhiko Takahashi & Michio Soshirodab (1996), donde consideraron para un sistema de producción multietapas una mejora, integrando sistemas de pedidos de producción de tipo push y pull en forma horizontal, por medio de un modelo matemático que mide el rendimiento del sistema de acuerdo al criterio de cantidad de producción y nivel de inventario en cada proceso. Para que el modelo funcione adecuadamente los autores proponen los siguientes supuestos:

- El sistema de producción procesa solo un producto.
- La demanda del producto puede ser prevista.
- Los procesos de producción están conectados en serie por medio de etapas que se definen en su capacidad de producción.
- La producción en cada etapa está planificada y controlada por un sincronizado período de igual longitud.
- Debe existir un stock de seguridad para cada etapa de producción $S^{(n)}$.

La cantidad a programar está expresada por medio de las órdenes de producción para cada fase por medio de la siguiente fórmula:

$$P_t^{(n)} = O_{t-1}^{(n)} \quad \text{donde } (n = 1,2,3 \ldots . N)$$

n: *Etapas de producción vistas desde un sistema pull, como n=1 la etapa final del proceso.*

El nivel de inventario se viene controlando por medio de la siguiente fórmula:

$$I_t^{(1)} = I_{t-1}^{(1)} + P_{t-1}^{(1)} - D_t$$

$$I_t^{(n)} = I_{t-1}^{(n)} + P_{t-1}^{(n)} - P_t^{(n-1)} \text{ donde } (n = 1,2,3 \ldots . N)$$

Otra de las investigaciones tenidas en cuenta es la realizada por Ho & Chang (2001) ya que desarrollaron un sistema integrado MRP - JIT que aborda la solución de la mayor parte de los problemas que tienen estos dos sistemas por separado. El sistema incorpora simultáneamente el problema de la programación de la producción y de la capacidad, y elimina la necesidad de especificar los plazos de entrega planeados, entregando finalmente la programación detallada del taller.

Este propone un nuevo marco de trabajo de planeación y programación de producción para solucionar el problema de sistemas de inventarios de varias etapas, integrando la Planeación de Requerimiento de Materiales (MRP) y el Justo a Tiempo (JIT), el sistema integrado elimina la necesidad de especificar el lead time planeado, posteriormente a diferencia del MRP, provee programaciones detalladas, así pues, este puede manejar un gran ambiente de producción.

Consideran un sistema de producción de inventarios discreto y multinivel (MS-PIS) con múltiples máquinas en cada etapa que fabrican varios productos, diferentes máquinas pueden ser usadas para llevar a cabo la misma operación; sin embargo, ellas pueden tener diferentes tiempos de configuración y procesamiento por unidad, así como diferentes costos.

Para el sistema integrado los autores proponen un modelo con los siguientes supuestos:

- Se tienen en cuenta los tiempos de configuración o cambios de variedad.
- La demanda depende de la variación del tiempo.
- La secuencia de operaciones de un producto debe seguir las especificaciones de la hoja de ruta.
- Para el control de inventario se tiene en cuenta el inventario en proceso y los bienes finalizados.

- El modelo pretende minimizar el costo total incluyendo el costo tiempo máquina y costo de almacenamiento de inventario.

- La heurística futura emplea un criterio objetivo, tal como el costo total unitario mínimo (LUTC) para determinar la programación de operaciones.

- El lead time del sistema integrado puede variar.

- Se debe tener en cuenta que la base de datos de tiempo estándar da información tal como; la capacidad de la máquina, costo de unidad por tiempo máquina y tiempo de procesamiento de unidad, el cual específica para cada centro cual operación, que parte va a ser procesada y en qué momento.

- Se debe establecer un costo de penalidad por incumplimiento de plazos.

Los anteriores supuestos han sido tenidos en cuenta a la hora de definir los parámetros:

m: *Número de máquinas*
n: *Número de partes o productos*
T: *Número de periodos en el horizonte de planeación*
pi: *NOP para parte i*
k: *Subíndice para máquinas,* k^1; ¼; m
i: *Subíndice para partes o productos,* i^1; ¼; n
t: *Subíndice para periodos de tiempo,* t^1; ¼; T
j: *Subíndice para operaciones de partes* i, j^1; ¼; pi

$Dijt$: *La demanda derivada para la operación j de la parte i que debe ser completado en un periodo t o antes.*

$Qijkt$: *La cantidad de operaciones j de partes i programadas en máquina k en el periodo t.*

$Zijkt$: *Costo unitario total si hay una demanda particular para la operación j de la parte i procesada por la máquina k en el momento t.*

Finalmente Crespo A. (1993) plantea un modelo hibrido push-pull en donde las configuraciones hibridas pretenden reducir los cálculos a realizar en el sistema de gestión push tipo MRP, aprovechando sin embargo la rápida transmisión de la información acerca de la demanda que proporciona este sistema. Igualmente

pretende utilizar la gestión simplificada de la producción mediante técnicas pull tipo Kanban, intentando de algún modo evitar las ineficiencias de estas técnicas que se provocan por lo general como consecuencia de la falta de utilización de la información sobre la demanda.

El modelo hace una utilización de las técnicas tipo push para el cálculo de las necesidades brutas de una célula de producción, mientras que las técnicas tipo pull se utilizan para la gestión al interior de cada una de esas células. Una vez se han obtenido las necesidaes brutas de cada etapa, estas se igualan al número de Kanbans. Evidentemente las necesidades netas se generan de acuerdo al sistema pull, pues el número total de tarjetas se corresponde con la suma de los contenedores que forman en ese momento el inventario en proceso, mas los que constituyen el inventario final, mas las tarjetas que han pasado a componer las ordenes de produccion cuando el inventario final se consume.

El autor tuvo en cuenta las siguientes consideraciones:

- El número de Kanbans de cada etapa se mantiene constante para cada periodo de planificación.

- El número de Kanbans se genera del análisis de la demanda de productos en la etapa final.

- La explosión de necesidades de fabricación de cada etapa se incorpora al valor de los inventarios para el cálculo de las necesidades brutas que darán lugar al número de kanbans.

El cálculo del número de tarjetas se realiza mediante el análisis de la demanda supuestamente conocida y variable como en el MRP, se realiza mediante una función que obtiene un nuevo plan de producción para cada instante:

$$NPP.K = X * P.K + (1 - X) * PSD.K$$

Donde:

P: *Previsión de demanda*
PSD: *Tiempo de suministro deseado*
X: *Factor de ponderación.*

El valor del nuevo plan de producción se calcula de manera continua y luego se muestra cada periodo de planificación, dando lugar las necesidades brutas de la etapa de montaje.

El MRP calculara las necesidades netas de cada etapa revisando los inventarios de las mismas y las igualara a las necesidades brutas de la etapa anterior en el proceso en línea.

El número de Kanban es fijado por un periodo de tiempo y el sistema se comporta como un sistema pull hasta que haya la necesidad que el MRP re-calcula las necesidades brutas y se introducen nuevas cantidades de kanbans en cada etapa.

Existe otro modelo hibrido push-pull propuesto por Crespo A. (1993) que trata de modelar un sistema productivo compuesto por tres etapas: aprovisionamiento, submontaje y montaje. Se proponen Lead time cortos para las últimas etapas y largos para la etapa de aprovisionamiento, lo que implica utilizar un sistema de gestión Kanban que simplificaría el proceso de control de la fabricación para las etapas de submontaje y montaje, y un sistema de gestión MRP para la etapa de aprovisionamiento con el objetivo que se puedan evitar las consecuencias de las variaciones en la demanda.

Para la etapa de aprovisionamiento, el cálculo del flujo de órdenes de compra se hace a través de un MRP. El MRP se realiza de forma continua, de manera que para cada instante se están calculando las necesidades netas y brutas de cada etapa de fabricación y aprovisionamiento. La diferencia ahora, es que los flujos de producción de las dos últimas etapas no vienen determinados por las necesidades netas obtenidas por el MRP, si no por los valores obtenidos para esos flujos mediante la gestión tipo Kanban.

El número de Kanbans está definido por:

$$NK.K = (PP.K/UCi)(LTi + Tli)(1 + SS)$$

Donde:

LTi: *Tiempos de proceso*
Tli: *Ciclo Kanban*
SS: *Stock de seguridad*
Uci: *Unidades por contenedor*
$PP.K$: *Plan de producción.*

Finalmente se aborda la metodología propuesta por Balanta Yesenia & Rincon Crispthofer (2012) el cual tiene como objetivo el enlace entre el sistema CONWIP, visto como un mecanismo para el control de la ejecución de las ordenes en la planta, y las capacidades de planificación propias del sistema MRP, implicando el establecimiento de parámetros que permitieron convertir las salidas del MRP en entradas ejecutables para el CONWIP.

Los autores consideraron para la determinación de los niveles apropiados de producción para cada tipo de parte realizar la formulación de un modelo de optimización de un sistema MRP que contiene restricciones e capacidad de almacenamiento, utilización de recursos, inventarios teniendo en cuenta la disminución de los costos relacionados con la realización de órdenes, almacenamiento de Inventario y tiempo extra empleado, lo cual dará información de entrada para un sistema de simulación CONWIP.

A continuación se presenta un resumen de las metodologías anteriormente mencionadas representadas en la tabla 4.

Tabla 4. Metodologías de Integración

Metodologías de Integración Push-Pull	Autores
Synchro MRP combina un sistema MRP clásico con bucles con tarjetas Kanban en todos los procesos consecutivos, solo es autorizado para producir si una orden de producción MRP y una tarjeta Kanban están presentes en la variante específica.	Hall (1986)
POLCA un sistema MRP central que determina la fecha de inicio de cada orden de producción en todos los procesos de programación regresiva.	Suri R. (1998)
Control de la carga de trabajo, Un sistema MRP de alto nivel genera una lista de órdenes de producción priorizada, para cada proceso el sistema mantiene un reporte y un umbral de carga de trabajo	Bertrand &Wortmann (1981)
Propone un sistema combinado que utiliza la explosión de materiales y los cálculos en fase de tiempo de un sistema MRP, y el sistema pull de JIT. El número diario de kanbans empleado en la planta está calculado por el sistema MRP.	Lee (1993)
El sistema híbrido horizontal, afirma que MRP puede ser más apropiado que JIT para gestionar la producción de materiales con series cortas, para los que es difícil nivelar la producción. La utilización de MRP para estos materiales, en una planta con el resto de materiales gestionados con JIT, constituye un sistema combinado MRP-JIT horizontal.	Monden (1994)

Metodologías de Integración Push-Pull	Autores
MRP con principios de producción esbelta, La reducción de configuraciones para disminuir los tamaños de lote y las inversiones en inventario, cambios en la distribución y la creación de relaciones con los proveedores.	Champan Stephen N. (2006)
Kanban con planificación MRP programar el sistema MRP para que tome en cuenta un periodo específico (de 2 a 3 semanas, por ejemplo), para determinar el componente de demanda total durante el mismo y calcular el número de tarjetas Kanban.	Champan Stephen N. (2006)
Sistema pull con control MRP, Este sistema tiende a utilizarse donde los patrones de demanda siguen siendo muy volátiles En él se emplean controles pull de la producción (como Kanban) en conjunto con el sistema MRP para planificar capacidad, número tarjetas Kanban, LT amplios,	Champan Stephen N. (2006)
Sistemas push global y pull por células, El papel que juega el MRP es de señalar a cada célula las necesidades de fabricación futuras mientras que interiormente se gestionan mediante un sistema Pull de tarjetas	Karmarkar (1986)
Sistema pull en fabricación y push en aprovisionamiento las etapas que pueden soportar unos lead times más largos pueden estar gestionados por un sistema Push como el MRP, mientras que soportan lead time predecibles y cortos quedan bajo el control del sistema Pull.	Karmarkar (1986)
Integrando sistemas de pedidos de producción de tipo push y pull en forma horizontal modelos matemáticos que miden el rendimiento del sistema de acuerdo al criterio de cantidad de producción y nivel de inventario en cada proceso.	KatsuhikoTakahashi&Michio Soshirodab (1996)
Nuevo marco de trabajo de planeación y programación de producción para solucionar el problema de sistemas de inventarios de varias etapas integrando la Planeación de Requerimiento de Materiales (MRP) y el Justo a Tiempo (JIT)	Ho & Chang (2001)

Metodologías de Integración Push-Pull	Autores
El modelo hace una utilización de las técnicas tipo push para el cálculo de las necesidades brutas de una serie de las células de producción, mientras que las técnicas tipo pull se utilizan para la gestión al interior de cada una de esas células.	Crespo A. (1993)
Modela un sistema productivo compuesto por tres etapas: aprovisionamiento, submontaje y montaje. Se proponen Lead time cortos para las últimas etapas y largos para la etapa de aprovisionamiento.	Crespo A. (1993)
Metodología la cual tiene como objetivo el enlace entre el sistema CONWIP, visto como un mecanismo para el control de la ejecución de las ordenes en la planta, y las capacidades de planificación propias del sistema MRP, implicando el establecimiento de parámetros que permitieron convertir las salidas del MRP en entradas ejecutables para el CONWIP, mediante un modelo matemático MRP y un modelo de simulación.	Balanta Yesenia & Rincon Crispthofer (2012)

Fuente: Elaboración Propia.

Después de realizar la revisión bibliográfica se define las siguientes investigaciones como los artículos que más incidieron en la formulación del modelo matemático que se presentará en el siguiente capítulo.

Como modelo base se ha considerado el siguiente modelo MRP clásico, planteado por David Woodruffy & Stefan Voß (2006) que ilustra la aplicación de la programación lineal en los sistemas de producción.

Para el siguiente modelo propuesto por David Woodruffy & Stefan Voß (2006) es necesario conocer con anticipación la siguiente información:

- Tiempo de suministro.
- La cantidad mínima de producción o de compra.
- El nivel actual de inventario.
- Los componentes necesarios (Lista de materiales - BOM)

A continuación se presenta la definición de parámetros y variables para el problema de MRP planteado por David Woodruffy & Stefan Voß (2006):

Definición de Parámetros y Variable

P Número de componentes

T Horizonte de planeación – Número de periodos

R (i,j) Número de componentes i necesarios para realizar componentes j

D (i,j) Demanda externa del componente i en el periodo t

LS (i) Tamaño de lote mínimo para el componente i

I(i,0) Inventario inicial del componente i para el horizonte de planeación *i*,

t Indicador binario de producción para el producto i en el periodo t

M Un número muy grande

X (i ,t) Cantidad de pedido del producto i en el periodo t

Función Objetivo. La función objetivo del modelo planteado es realizar los pedidos considerando el tamaño mínimo a pedir y el nivel de stock promedio que se genera en el horizonte de planeación, es decir, realizar el lanzamiento de pedidos tan tarde como sea posible pero sin sobrepasar la fecha del requerimiento.

$$Minimizar \sum_{i=1}^{P} \sum_{t=1}^{T} (T - t) * x_{i,t}$$

Restricciones:

El conjunto de restricciones de balance de inventario garantizan que la cantidad de materiales pedidos más las existencias en inventarlo para el producto i debe ser igual o superior a la demanda del periodo correspondiente para el producto i, todo esto desde el periodo 1 hasta el periodo t.

$$\sum_{\tau=1}^{t-LT(i)} x_{i,\tau} + I_{i,0} - \sum_{\tau=1}^{t} (D_{i,\tau} + \sum_{j=1}^{P} R_{i,j} * x_{j,\tau}) \geq 0 \quad \forall i, t$$

Estas restricciones garantizan que cuando se decide producir o no producir el tamaño del pedido del componte i en el periodo t deba ser cero (0) o superior al tamaño de lote mínimo LS(i) respectivamente.

$$x_{i,t} \geq \delta i,t \ * LS_i \ \ \forall i,t$$

Restricción del indicador de producción

$$\delta i,t \geq \frac{xi,t}{M}$$

A continuación se muestra el concepto básico utilizado para integrar la filosofía JIT y el modelo MRP, el cual tratara al CONWIP como la forma de expresión de la filosofía JIT, por ende se rescata cómo se puede determinar el número de tarjetas CONWIP con una modificación del método descrito por Hopp W. et al. (1993), que supone:

- Demanda infinita: que implica un nivel máximo de trabajo en proceso y que la línea está operando todo el tiempo.
- Tiempos de procesado fijo: Ésta es una suposición razonable, puesto que en un entorno de producción altamente automatizado, la variabilidad del proceso es muy pequeña.

- Se está produciendo un solo artículo.

La pregunta es, ¿cuánto trabajo en proceso se necesita en realidad?

Se quiere que la máquina cuellos de botella trabaje todo el tiempo. Como el sistema es determinístico, las colas solo pueden ocurrir antes de la máquina cuello de botella. Si algún contenedor deja la máquina cuello de botella, el tiempo que transcurre hasta que regresa al cuello de botella es la suma de los tiempos de procesado en todo el resto de las máquinas. Esto es:

$$\sum_{i=1}^{m} t_i - \ t_{CB}$$

Donde:

$m = número\ de\ máquinas$
$n = número\ de\ tarjetas\ (contenedores)$
$t_i = tiempo\ de\ procesado\ en\ la\ máquina\ i.\ \ i = 1,2, \ldots., m$
$t_{CB} = tiempo\ de\ procesado\ en\ la\ máquina\ cuello\ de\ botella$

Durante este tiempo, el cuello de botella debe procesar los otros $(n-1)$ Contenedores, suponiendo que hay n contenedores en el sistema (el número de tarjetas). Este tiempo es igual a:

$$(n-1)t_{CB}$$

Si el cuello de botella procesa el contenedor bajo consideración y trabaja todo el tiempo, el tiempo que pasa para que un contenedor llegue al cuello de botella debe ser menor o igual que el tiempo que toma al cuello de botella procesar los otros $n-1$ contenedores. En otras palabras,

$$(n-1)t_{CB} \geq \sum_{i=1}^{m} t_i - t_{CB}$$

$$n = \sum_{i=1}^{m} t_i \,/\, t_{CB}$$

En la práctica, el número de contenedores es un entero. Con la finalidad de que el cuello de botella trabaje todo el tiempo, el número de contenedores n debe redondearse al entero más cercano mayor que n. En este caso, se puede formar una cola frente a la máquina cuello de botella, Sipper D. & Bulfin R. (1998).

Se puede decir entonces que el número de tarjetas CONWIP es igual al WIP (work in process) del sistema, ya que si manejamos un sistema por medio de tarjetas CONWIP adecuadamente, el inventario en proceso no debería sobrepasar el número de tarjetas, ya que este es el número máximo de contenedores que debería haber en el sistema según especificaciones de cada empresa.

Fue necesario la revisión bibliográfica para identificar los métodos de integración que se consideraron llamativos al momento de fusionar los dos sistemas, con el fin de tener una guía para la ejecución de la propuesta del modelo de integración MRP-JIT

De esta forma con las bases adquiridas por medio de la investigación y unas modificaciones a estos modelos, se planea integrar el MRP con la filosofía JIT, ya que por medio de una formulación de restricciones CONWIP podemos restringir las salidas del modelo MRP como se propone en el siguiente capítulo.

5. FORMULACIÓN DEL MODELO DE INTEGRACIÓN MRP-JIT

Con el ánimo de dar cumplimento al tercer objetivo específico que consiste en definir las características del modelo, se integra el sistema de control MRP-Push con el sistema de control de filosofía JIT-Pull, el cual se inicia pensando en el CONWIP como mecanismo para el control de la ejecución de las órdenes en la planta, dado que el CONWIP maneja aspectos de la ideología JIT tales como el control de inventarios bajo señales de fabricación con respecto a una demanda actual, fortaleciendo el flujo de materiales y controlando el trabajo en proceso del sistema, lo que facilitará la disminución de inventarios.

Se busca realizar una integración específicamente de las características y la metodología de un sistema MRP en los niveles más altos de planificación, y un sistema CONWIP como una herramienta de control, específicamente en la planta. Esto implica, el establecimiento de parámetros CONWIP que permiten controlar las salidas del MRP.

El siguiente modelo matemático de integración MRP-JIT propone un análisis el cual involucra las características presentadas por David Woodruffy & Stefan Voß (2006) que modela un sistema MRP básico a partir de supuestos de no existencia de restricciones de capacidad, no permite incumplimiento o aplazamiento de la demanda, por tal motivo con este modelo básico de MRP se tiene la oportunidad de realizar modificaciones importantes y aportarle las características de un sistema justo a tiempo, por ende se le ha sumado variables de inventario y restricciones de capacidad. Finalmente con el fin de integrar el MRP-JIT, el modelo es completado con las bases del funcionamiento de un sistema CONWIP planteadas por Hopp W. et al. (1993), bajo el supuesto de limitar el inventario de proceso WIP. En este sentido, se presenta la siguiente propuesta del modelo para la integración MRP-JIT como herramienta de un sistema híbrido de producción, teniendo en cuenta las ventajas del MRP y del JIT.

Por el lado del MRP se garantiza revisar la lista de materiales que permite entender la precedencia del proceso, en cambio por el lado del JIT se encuentran lotes mínimos ajustados a la capacidad de la línea de producción, este también determina el análisis de capacidad y ayuda a entender la hoja de ruta del producto teniendo en cuenta las estaciones de trabajo y sus respectivos tiempos de procesamiento. En cuanto al MRP se tiene la ventaja de traducirle al JIT los requerimientos de demanda según un histórico, permitiendo que la línea de producción siempre responda ante picos de demanda, en este caso la filosofía JIT por medio de la fórmula CONWIP expresada a continuación en los supuestos del modelo de integración MRP-JIT, podrá controlar el inventario en proceso garantizando el cumplimiento de la demanda traducida por el MRP.

Supuestos del Modelo de Integración MRP-JIT:

- Los parámetros del modelo de cantidad productiva deben estar en función del número de contenedores, según el tamaño del contenedor manejado en el proceso.

- Se conoce el valor de requerimiento de productos finales.

- El sistema de producción será controlado por el número de tarjetas de control óptimo que es determinado bajo la fórmula establecida por Hopp (1993) que representa los contenedores permitidos en el sistema, donde el número n contenedores debe redondearse al entero mayor más cercano, dado que debe ser interpretado como el total del número teórico de estaciones.

$$n = \sum_{i=1}^{p} TC_i \,/\, T_{CB}$$

$donde$:

$n = n\acute{u}mero\ de\ tarjetas\ (contenedores)$
$TC_i = tiempo\ de\ procesado\ del\ item\ i.\ \ i = 1,2,\ldots.,p$
$T_{CB} = tiempo\ de\ procesado\ del\ item\ asignado\ al\ cuello\ de\ botella$

- Si la línea de producción procesa varios productos, se deben seleccionar los tiempos de procesamiento del producto final que obtenga el mayor tiempo de permanencia en el sistema de producción, con la finalidad de ingresar los tiempos de proceso de cada fase del producto final en la formula anterior y garantizar que el cuello de botella se mantenga ocupado, en otras palabras para el sistema se debe escoger el mayor n que se genere al solucionar la fórmula entre los diferentes ítems fabricados en la línea de producción.

- El lead time, bien sea de producción o de suministro, se asume conocido y se debe aproximar al entero más cercano.

- La demanda debe implicar un nivel máximo de trabajo en proceso para que la línea está operando todo el tiempo, el dato se debe aproximar al entero más cercano.

- Los componentes entre los diferentes productos que procesan las líneas no son comunes.

- El tamaño o capacidad del contenedor debe ser igual para todos los ítems procesados y el tamaño de lote mínimo debe ser múltiplo de los requerimientos de cada componente.

Conjuntos:

ITEM: Conjunto de ítems: i, j
PER: Conjunto de Periodos: t
MAQ: Conjunto de máquinas: m

Conjuntos Inducidos:
IM: Conjunto de ítems que se procesan por la máquina m,

Variables de decisión:

$X(i,t)$: *Cantidad de número de contenedores a producir del ítem* i o j *en el tiempo* t. *La variable de decisión permitirá conocer cuánto se debe producir o comprar del ítem* i *en el periodo* t.

$INV(i,t)$: *Inventario final en número de contenedores del ítem* i, *esta variable puede monitorear el nivel de inventario final del sistema en cada periodo de tiempo.*

$W(i,t)$:*Variable binaria la cual toma el valor de 1 si el ítem i se produce en el periodo* t, *de lo contrario toma el valor de 0.*

Parámetros:

IT: *Número de Ítems (Total de ítems entre productos finales, semiterminados y materiales). .*

P:*Número de Periodos.*

G: Número muy grande; mayor a la demanda máxima.

Q: Número de máquinas.

N: *Número de contenedores en el sistema.*

$DEM(i,t)$:*Demanda independiente del ítem* i *en el periodo* t

$DEPEN\ (i,j)$: *Número de contenedores del ítem* i *necesarios para realizar un contenedor del ítem* j.

$LT\ (i)$:*Lead time delitem* i

$LOT\ (i)$: *Tamaño de lote mínimo en número de contenedores para el ítem* i

$INV_INI(i)$:*Inventario Inicial del ítem* i

$CAP\ (m)$: *Capacidad máxima en tiempo (horas) de producción de cada máquina* m.

$TPC\ (i\ )$: *Tiempo de procesamiento del Contenedor del ítem* i

$CP\ (i\ )$: *Costo de tenencia del contenedor de cada ítem* i.

$CO(i)$: *Costo Fijo de Ordenar el ítem* i.

Función Objetivo:

Se rescata que la función objetivo del modelo va de acorde al Objetivo General del Proyecto garantizando un nivel de inventarios bajo conforme al costo de tenencia del inventario y el costo fijo de ordenar por cada lanzamiento.

$$Minimizar \sum_{i=1}^{IT}\sum_{t=1}^{P} INV_{i,t} * CP_i + \sum_{i=1}^{IT}\sum_{t=1}^{P} W_{i,t} * CO_i$$

Se busca realizar los pedidos considerando el tamaño mínimo a pedir y el nivel de stock promedio que se genera en el horizonte de planeación, minimizando así el costo de tenencia del inventario y el costo representado por el hecho de ordenar en un periodo dado, el cual incluye los costos asociados de colocar una orden y recibirla independiente del tamaño de la orden.

Restricciones:

Balance de inventario:

El inventario disponible y el pedido del componente lanzado en el periodo requerido menos el LT, deben ser mayores a la demanda externa y la demanda interna de cada componente, logrando así que nunca haya faltantes. Estas restricciones permiten determinar la cantidad de inventario de producto o materia prima que queda al final de un periodo.

$$INV_{i,t} + DEM_{i,t} + \sum_{j=1}^{IT} DEPEN_{i,j} * X_{j,t} = INV_INI_i \quad \forall i, \mathrm{t} = 1$$

$$INV_{i,t} + DEM_{i,t} + \sum_{j=1}^{IT} DEPEN_{i,j} * X_{j,t} = INV_INI_i \quad \forall i, 1 < t \leq LT(i)$$

$$INV_{i,t} + DEM_{i,t} + \sum_{j=1}^{IT} DEPEN_{i,j} * X_{j,t} = X_{i,t-LT(i)} + INV_{i,t-1} \quad \forall i, 1 < t > LT(i)$$

Restricción de Frontera

Garantiza que en los últimos periodos del horizonte de planificación los lanzamientos que no alcanzan a convertirse en inventario no se envíen a producir.

$$X_{i,t} = 0 \quad \forall i, \forall t = \mathrm{P} - \mathrm{t} + 1 < LT(i)$$

Tamaño de Lote:

Se asegura cumplir con la política de pedidos de la empresa manufacturera tratándose de producir o pedir por lo menos el tamaño de lote mínimo. Garantizando que cuando se decide producir o no producir el tamaño del pedido del componte i en el periodo t deba ser cero (0) o superior al tamaño de lote mínimo LOT (i) respectivamente.

$$\mathrm{X}_{i,t} \geq W_{i,t} * LOT_i \quad \forall i, t$$

Decisión de Producción:

La siguiente restricción le facilita al modelo lanzar las cantidades a producir siempre y cuando sea autorizada la producción en ese instante de tiempo t para cada ítem i

$$X_{i,t} \leq G * W_{i,t} \quad \forall i, t$$

Capacidad:

Con esta restricción se podrá garantizar que la cantidad de producción sea menor o igual que la capacidad máxima de producción que tiene la empresa. Para el caso estudio las restricciones de capacidad se determinan teniendo en cuenta la siguiente secuencia en el subíndice i y m, dado que i representa solo para los ítems i que pasan por la máquina m.

$$X_{1,t} * TPC_{1} + X_{5,t} * TPC_{5} \leq CAP_{1} \quad \forall t$$

$$X_{2,t} * TPC_{2} + X_{6,t} * TPC_{6} \leq CAP_{2} \quad \forall t$$

$$X_{3,t} * TPC_{3} + X_{7,t} * TPC_{7} \leq CAP_{3} \quad \forall t$$

$$X_{4,t} * TPC_{4} + X_{8,t} * TPC_{8} \leq CAP_{4} \quad \forall t$$

Las anteriores restricciones de capacidad se pueden resumir de forma general por medio de un conjunto inducido que indica los ítems i que pasan por cada máquina m como se muestra a continuación:

$$\sum_{i\varepsilon\, IM\,(m)} X_{i,t} * TPC_{i} \leq CAP_{m} \qquad \forall t, m$$

CONWIP

Al saber cuál es el WIP por medio de la variable INV, se puede limitar para mantener un mejor flujo de materiales y al mismo tiempo un menor nivel de inventario, por lo tanto el nivel del WIP no debe superar al número de tarjetas o contenedores establecidos anteriormente en el parámetro n. Al controlar el WIP aseguramos que la salida de un contendor le dé la autorización de entrada al sistema a otro contenedor incluyendo de esta manera la filosofía JIT. Esta restricción solo aplica para aquellos ítems que son componentes, excluyendo de esta forma las materias primas y los productos terminados, quedando solo con los ítems que conforman el inventario en proceso, para el caso estudio se limita la restricción solo para los ítems 3,4,5,6,7 y 8 que son aquellos ítems procesados por las estaciones de trabajo.

$$\sum_{\mathrm{i}=1}^{3\leq i\leq 8} INV_{i,t} \leq N \qquad \forall\, t$$

Restricciones Lógicas

$$X_{i,t} \geq 0 \quad \forall i,t$$

$$INV_{i,t} \geq 0 \quad \forall i,t$$

$$W_{i,t} \in \{0,1\} \quad \forall i,t$$

Tabla 5. Modelo de Integración MRP-JIT

MODELO DE INTEGRACIÓN MRP-JIT	
Función Objetivo	$Minimizar \sum_{i=1}^{IT}\sum_{t=1}^{P} INV_{i,t} * CP_i + \sum_{i=1}^{IT}\sum_{t=1}^{P} W_{i,t} * CO_i$
Restricción Balance de Inventario	$INV_{i,t} + DEM_{i,t} + \sum_{j=1}^{IT} DEPEN_{i,j} * X_{j,t} = INV_INI_i \qquad \forall i, \mathrm{t} = 1$ $INV_{i,t} + DEM_{i,t} + \sum_{j=1}^{IT} DEPEN_{i,j} * X_{j,t} = INV_INI_i \qquad \forall i, 1 < t \leq LT(i)$ $INV_{i,t} + DEM_{i,t} + \sum_{j=1}^{IT} DEPEN_{i,j} * X_{j,t} = X_{i,t-LT(i)} + INV_{i,t-1} \qquad \forall i, 1 < t > LT(i)$

MODELO DE INTEGRACIÓN MRP-JIT	
Restricción Frontera	$X_{i,t} = 0 \quad \forall i, \mathrm{P} - \mathrm{t} + 1 < LT(i)$
Restricción Tamaño de Lote	$\mathrm{X}_{i,t} \geq W_{i,t} * LOT_i \ \ \forall i, t$
Restricción Decisión de Producción	$X_{i,t} \leq G * W_{i,t} \quad \forall i, t$
Restricción de Capacidad	$\sum_{i\varepsilon\, IM\,(m)} \mathrm{X}_{i,t} * TPC_{\ i} \leq CAP_m \quad \forall\, t, m$
Restricción Limite del WIP	$\sum_{\mathrm{i}=1}^{3\leq i\leq 8} INV_{\ i,t} \ \leq \ N \quad \forall\, t$
Restricciones Lógicas	$X_{i,t} \ \geq 0 \quad \forall i, t$ $INV_{i,t} \ \geq 0 \quad \forall i, t$ $W_{i,t} \ \in \ \{0,1\} \ \ \forall i, t$

6. CASO DE ESTUDIO

Dando cumplimiento al cuarto objetivo específico de poner en práctica el modelo desarrollado y verificar su desempeño, se ha adaptado en un caso de estudio de una empresa dedicada a la industria de alimentos que labora en 3 turnos al día cada uno de 8 horas durante 6 días a la semana, domingos no laborables. Se plantea cada instante o periodo de tiempo en horas y un horizonte de 2 días o 48 horas en el cual el grado de utilización de la línea de producción es del 87%, descontando tiempos de toma de alimentos, cambios de variedad, aseos correspondientes a entrega de turnos y aseo especial de fin de semana.

Al tener periodos en hora se debe considerar consecuentemente los lead times en horas, por lo tanto el lead time de los ítems procesados en la línea de producción tienden a ser 1, puesto que el tiempo de procesamiento de un contenedor en su respectiva estación de trabajo no sobrepasa la hora.

La línea de producción analizada procesa 2 productos finales con diferentes formas de corte y sabores, la cual está compuesta por 4 estaciones de trabajo en línea de la siguiente manera:

Cocimiento-Moldeo: La receta para el proceso de cocimiento está estandarizada para trabajar en baches de 225kg, algunos materiales están previamente pesados por el operario cocinador y otros son dosificados automáticamente, una vez estén pesados el total de los materiales se agitan por un tiempo de 10 min y pasan a ser cocinados, para luego ser almacenados en una olla pulmón, cuando el extrusor que es el proceso posterior es encendido, el bache pasa automáticamente por medio de tuberías a la estación de colores para que el producto adquiera su característica antes de pasar automáticamente hacia el extruder.

El proceso de moldeo está compuesto por extrusión, temperado y corte; el rendimiento de este proceso depende de la bomba del extruder que trabaja a una velocidad de 200 rpm, la forma del producto depende de las boquillas instaladas con una capacidad de 16 Boquillas que generan 16 sogas de producto que se transforman en 16 unidades por cada corte de la guillotina, cabe aclarar que las 16 sogas de producto son transportadas por una banda que dirige el producto por la estación de trabajo desde la salida del extruder hasta la guillotina, pasando primero por el túnel de enfriamiento para un proceso de temperado y finalizando con el corte en la guillotina para darle la característica de peso al producto, ya que

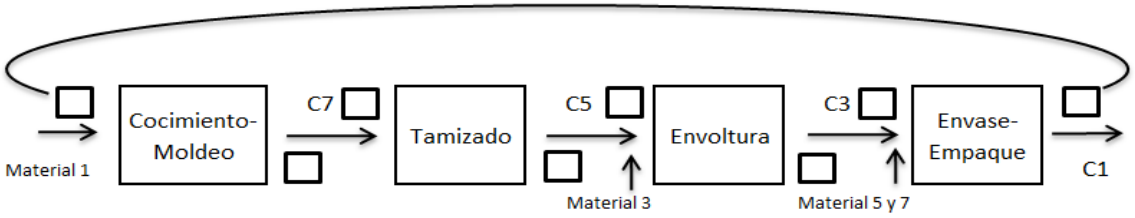
el ancho al producto depende de la secuencia del corte; para logar un corte eficiente se requiere que el producto esté cubierto de almidón para evitar que el producto se pegue a la guillotina.

Tamizado: Después el producto pasa a un bombo de tamizado, el cual se encarga de retirar el exceso de almidón del producto conservando una razón de salida de 460 kg/hora

Envoltura: En esta línea cada tipo de producto es recubierto por una envoltura distintiva, para aquel proceso la estación de trabajo consta de 3 máquinas envolvedoras cada una con capacidad de procesar 275 und/min

Envase y Empaque: Las Unidades del producto ya envuelto son envasadas a una velocidad de 40 bolsas/min para formato P1 y 30 bolsas/min para formato P2 con la finalidad de ser empacadas y enviadas al centro de distribución.

Figura 4. Diagrama de Proceso.



Fuente: Elaboración Propia.

Figura 5. Flujograma del Producto.

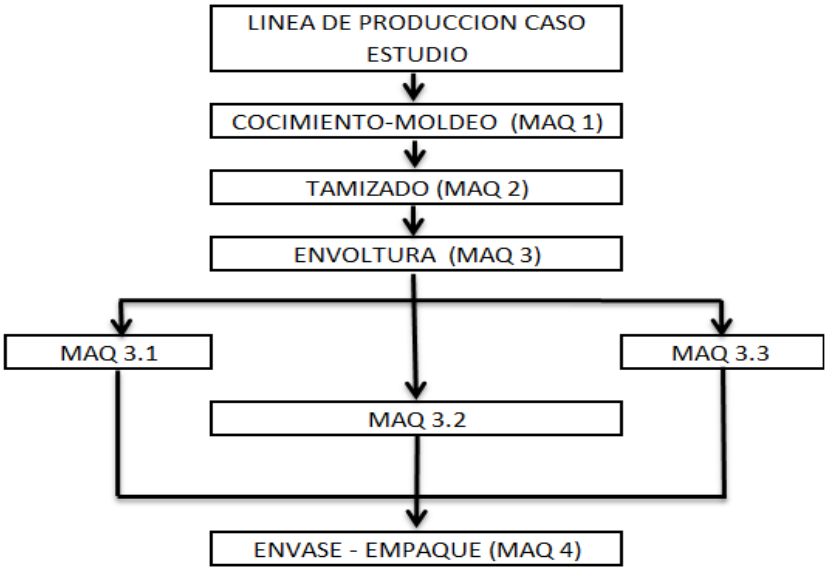
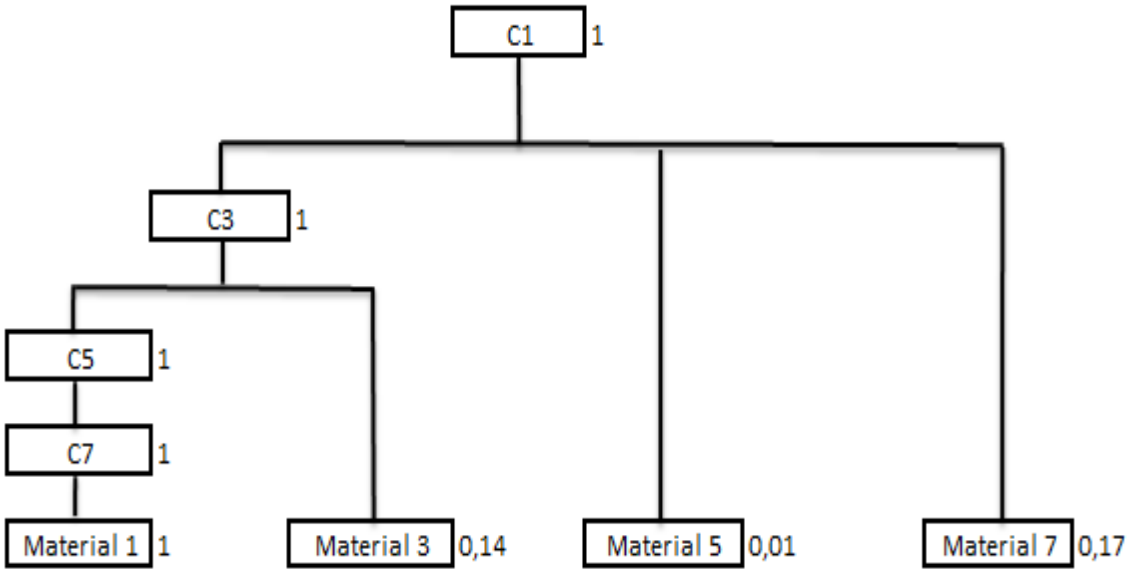
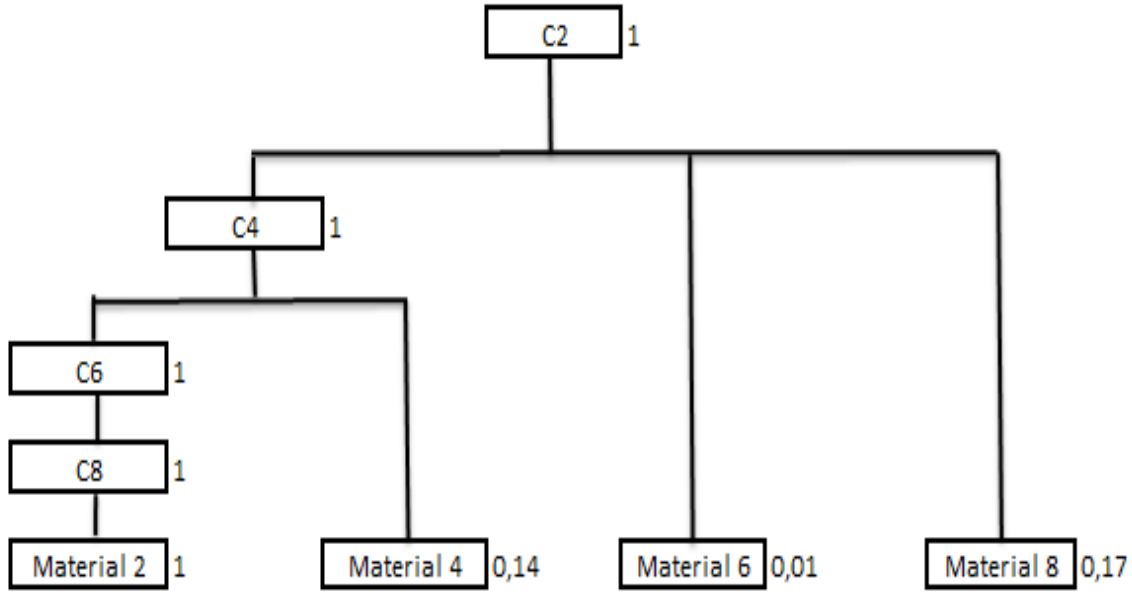


Figura 6. Lista de Materiales C1



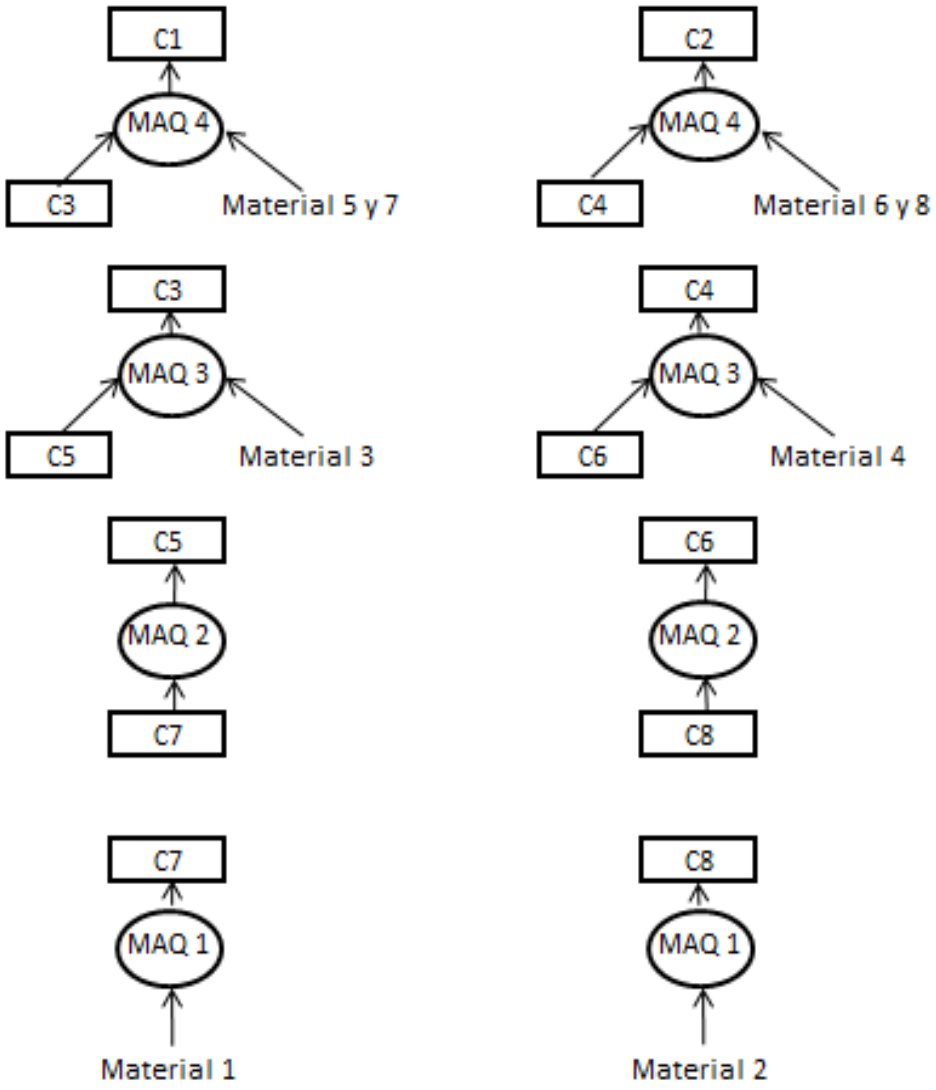
Fuente: Elaboración Propia.

Figura 7. Lista de Materiales C2



Fuente: Elaboración Propia.

Figura 8. Ruta del ProductoC1 y C2



Fuente: Elaboración Propia.

Teniendo en cuenta el funcionamiento y las características del caso estudio se procede a analizar cómo se comporta el modelo con el sistema de fabricación descrito anteriormente.

7. ANÁLISIS DE RESULTADOS

En el siguiente capítulo se presenta en análisis de los resultados con el fin de determinar la validación de modelo para dar cumplimiento al objetivo número cuatro el cual corresponde a un análisis de escenarios.

El modelo presentado permite el aprovisionamiento de componentes, subcomponentes y materia prima en periodos anteriores a los requeridos, con el fin de optimizar los costos relacionados con el almacenamiento y ordenamiento de productos conforme se da cumplimiento a la demanda, para lo cual se encuentra las mejores combinaciones de secuencia de programación en una línea de producción multiproducto que permita el desarrollo óptimo del proceso.

La función objetivo minimiza el inventario teniendo en cuenta el costo de ordenar y el costo de almacenamiento, por lo tanto se crea un inventario de acuerdo a la demanda requerida y a los lanzamientos que se ajuste a la línea de producción teniendo en cuenta los dos tipos de costos. El modelo está orientado en pedir en cada periodo para no incurrir así en un costo de almacenamiento superior, también se pueden encontrar productos que sea preferible ordenar en grandes cantidades para que el costo asociado al almacenamiento no se vea incrementado significativamente.

Para que el modelo sea factible es necesario que la demanda durante el tiempo de suministro esté cubierta por el inventario inicial (establecido al inicio del horizonte de planeación), pues ésta es la única manera que se tendría para satisfacer la demanda en cada periodo, por lo tanto debe haber el suficiente inventario inicial disponible para cubrir la demanda en este periodo de suministros.

Como mínimo el inventario inicial de los ítems padres debe de abastecer los primeros periodos que se necesitan para obtener el total de un producto. El inventario inicial en los ítems padres es vital para que el modelo pueda correr durante los periodos iníciales en los cuales puede quedar desabastecido por el lead time.

El modelo de integración MRP-JIT ordena la diferencia entre lo requerido por la demanda y el inventario en cada instante de tiempo, tiene la facultad de programar la producción en periodos que no existe demanda en caso que se requiere dependiendo de la capacidad disponible o también del nivel del inventario inicial.

El n es el número de contenedores óptimo permitido para el inventario en proceso, este depende del tiempo de procesamiento del contenedor en cada estación de trabajo y se limita con el tiempo de procesamiento del contenedor en la estación cuello de botella, encontrando el número óptimo de estaciones para balancear la

línea de producción con el ánimo de disminuir el inventario en proceso y garantizando que el recurso cuello de botella siempre este procesando.

La suma del inventario inicial de los componentes que conforman el inventario en proceso no puede superar el máximo de contenedores permitidos por el CONWIP, ya que crea conflictos con la restricción y se vuelve in-factible.

Para los ítems que conforman el inventario en proceso solo se reporta el inventario del Ítem 3, el cual es procesado por la estación de trabajo cuello de botella, igualmente el ítem 4 está asociado al recurso cuello de botella pero no reporta inventario acumulado en proceso, este suceso se crea porque los costos del ítem 3 son menores a los costos del ítem 4, por lo tanto el modelo elige el material de menor costo. Ver tabla # 9 del capítulo anexo.

ANÁLISIS DE ESCENARIOS

Para realizar la validación del modelo se han efectuado variaciones en algunos de los parámetros que serán expuestos a continuación, enunciando los cambios con su respectiva incidencia en el valor de la variable INV, función objetivo y en la estructura de solución, con el propósito de conocer su desempeño ante distintas situaciones.

Parámetro Demanda:

La capacidad de la línea solo permite atender una demanda máxima de 1 contenedor por cada periodo, por lo tanto al aumentar la demanda se invalida el resultado del modelo. Por lo cual se concluye que la línea de producción solo es capaz de responder con una producción máxima de 48 contenedores en el horizonte de tiempo.

Parámetro Lote Mínimo:

Igualmente la restricción de capacidad limita la opción de manejar lotes mínimos de mayor dimensión por ende el lote máximo permisible es de 1 contendor.

Parámetro Lead Time:

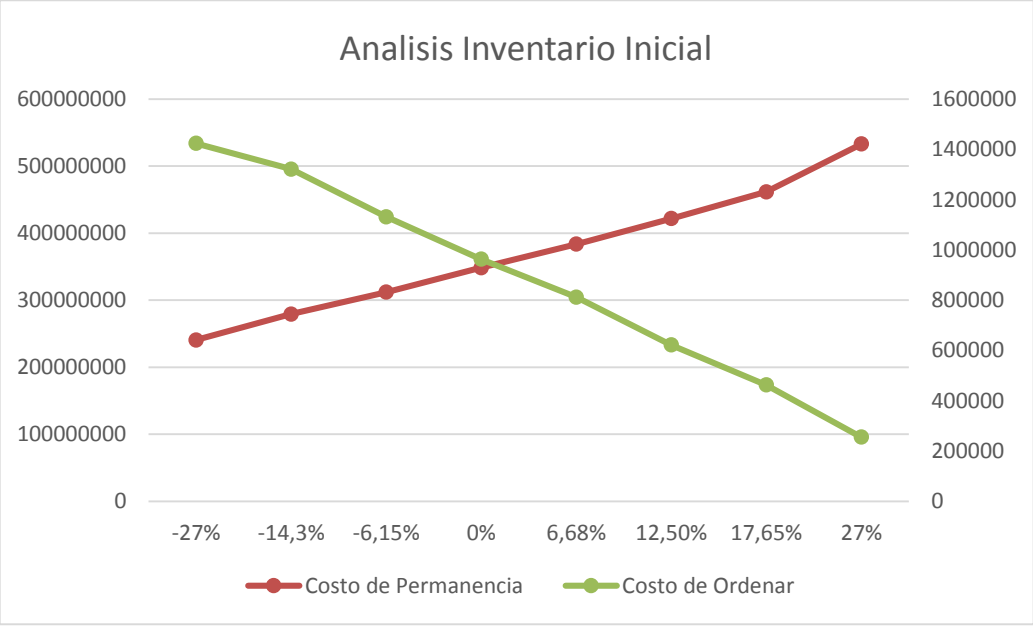
Al aumentar o disminuir el parámetro lead time se aumentó el costo de producción del caso estudio ya que es más tiempo de permanencia en el sistema incrementando así el costo, el lead time es un valor optimo ya que garantiza que el recurso cuello de botella este en constante funcionamiento, al variar el lead time

se corre el riesgo de que el recurso cuello de botella cese sus actividades debido a que el tiempo de procesamiento sea mucho menor que el lead time.

Parámetro Inventario Inicial:

El parámetro inventario inicial es considerado sensible para la iteración del modelo, ya que con solo variarlo en un -25% logro impactar en la función objetivo con una disminución de 30,68% en el escenario optimista, con este nivel de inventario inicial se puede abastecer la demanda durante los periodos de suministro sin ningún inconveniente y al mismo tiempo disminuir los costos; si el inventario inicial se incrementa ocasiona un aumento en los costos de mantenimiento de Inventario y se evidencia que se realizan menos pedidos, esto se debe a que el costo de permanencia del inventario en el caso estudio es mayor que el costo fijo de ordenar, por lo cual el modelo consume primero el inventario inicial antes de pedir, por otro lado un incremento del 25% en el inventario inicial logro impactar la función objetivo en un 34,76% para el escenario pesimista generando un incremento considerable en los costos. Lo anterior se representa en la siguiente gráfica.

Grafica 1. Análisis de Sensibilidad Parámetro Inventario Inicial.



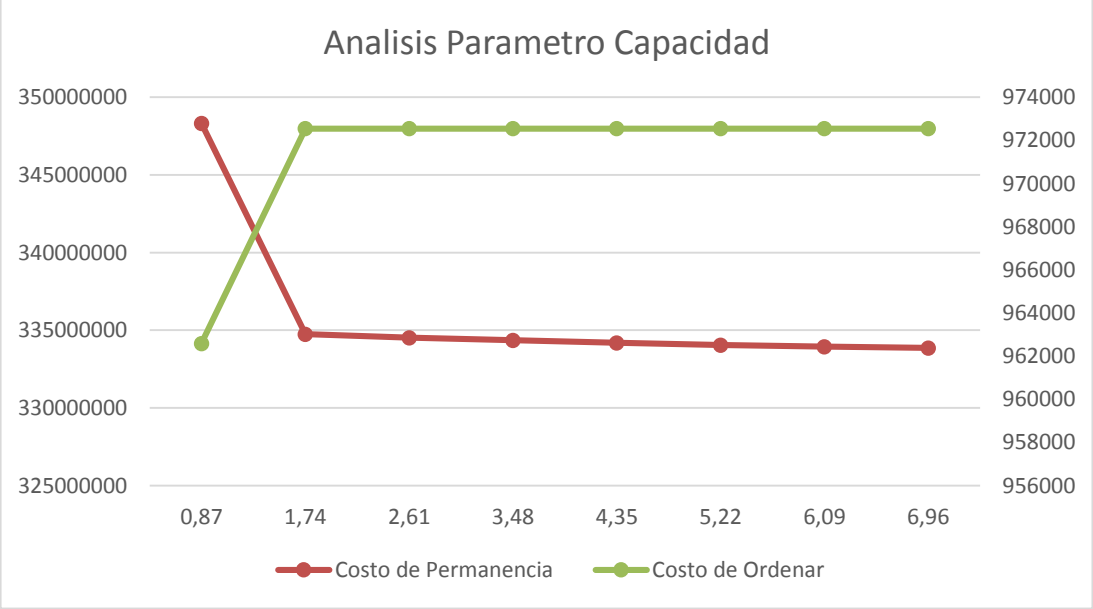
Al variar solo el inventario inicial de los ítems padres se pudo concluir que el inventario inicial mínimo entre estos dos ítem debe ser 36 contenedores para que la demanda sea satisfecha y los datos del modelo sean factibles, el inventario inicial de los ítem c2 o c1 se puede disminuir hasta 1, siempre y cuando la suma de los ítem padre sea 36, esto se da por la restricción de capacidad que tiene las los centros de trabajo. Por ejemplo; si se baja el inventario inicial de c1 a 1 contenedor y c2 a 35 contenedores, entonces el proceso consume el inventario inicial del ítem c2, mientras realiza lanzamientos del ítem c1 para cumplir con la demanda. También se puedo observar que a medida que se reduce el inventario inicial del producto padre c1, se reducen los costos, ya que es el ítem padre que tiene menor costo de permanencia.

Parámetro Capacidad:

La restricción de capacidad es útil para que el modelo pueda programar la producción para dos o más ítems padres, ya que ésta restringe la disponibilidad de la estación de trabajo y obliga al modelo programar la secuencia.

Para que el modelo pueda correr con la restricción de análisis de capacidad, la capacidad mínima de cada estación de trabajo debe ser el mayor tiempo de procesamiento de un contenedor del proceso.

Grafico 2. Análisis de Sensibilidad Parámetro Capacidad.

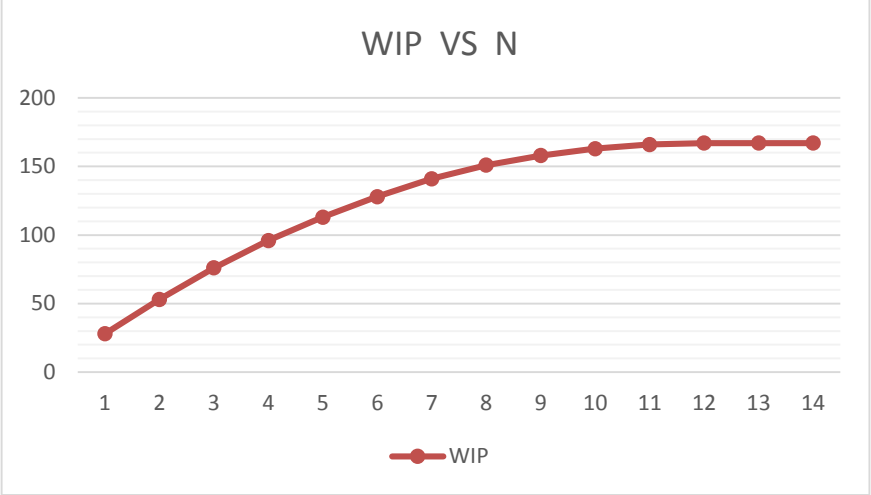


Si se aumenta la capacidad en función de la capacidad inicial, obteniendo capacidades múltiplos de 0,87, obtenemos el siguiente análisis:

Una vez la capacidad aumenta se ocasiona una reducción en el costo de permanencia en 0,42% y un aumento del costo de ordenar en 1,02%. Al aumentar la capacidad se tiene más opción de ordenar y se disminuye el inventario al tener mayor flujo para abastecer la demanda.

Parámetro N: Número óptimo de contenedores permitidos WIP

Grafico 3. Análisis Parámetro N



Al variar el N, varia el WIP, ya que al reducir o aumentar este parámetro nos impacta directamente en la cantidad de inventario máximo en proceso que permanece en el sistema, después de variar consecutivamente se observó que si aumentamos el parámetro desde un valor de 1 hasta 11 el WIP aumenta, pero desde el valor de 12 en adelante el WIP permanece constante.

APORTE DE RESTRICCIÓN CONWIP AL MODELO MRP

Para poder analizar el impacto de modelo MRP-JIT en cuanto al control del WIP, se procede a analizar los resultados de la variable INV en el Modelo MRP básico y en el modelo de Integración MRP-JIT, el cual consta del Modelo MRP que considera análisis de capacidad más una restricción CONWIP que limita el inventario en proceso, garantizando que el recurso cuello de botella produzca constantemente.

MRP

El objetivo principal del MRP es minimizar la cantidad de unidades a pedir en un determinado período de tiempo, pero esta cantidad que se pida para un reabastecimiento debe ser la necesaria para satisfacer la demanda.

MRP-JIT

Se busca minimizar el inventario en proceso por medio de un control óptimo de señales CONWIP.

Tabla 6. Aporte Restricción CONWIP

APORTE RESTRICCIÓN CONWIP		
ANÁLISIS	**MRP**	**MRP-JIT**
WIP (Contendores)	167	76

Fuente: Elaboración Propia.

Con la restricción CONWIP se logra integrar la filosofía JIT con el MRP, agregándole un control de piso al sistema MRP, con este análisis se pudo observar que durante el horizonte de planeación la suma del inventario en proceso en los ítems que lo conforman se redujo un 54,5% al utilizar la restricción CONWIP, garantizando el cumplimiento de la demanda con un menor WIP.

VERIFICACION DEL CUMPLIMIIENTO DE DEMANDA

La suma del inventario inicial y los lanzamientos de cada ítem padre deben ser igual a la suma de su demanda, con el fin de comprobar que se esté abasteciendo la demanda correctamente se realiza el siguiente análisis y confirma que la demanda se abastece en su totalidad.

Tabla 7. Cumplimento de Demanda

ANÁLISIS CUMPLIMIETO DEMANDA	Ítem C1	Ítem C2
Demanda Ítem	42	42
Inventario Inicial ítem	28	28
Total de Contenedores por Lanzamientos del ítem	14	14
Abastecimiento de Demanda Ítem	42	42

Fuente: Elaboración Propia.

8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El presente proyecto propone un modelo de integración MRP-JIT para una empresa manufacturera, donde el MRP se encarga de planificar la producción y JIT mejora el rendimiento de las operaciones de fabricación, este complemento genera control del flujo de materiales.

La esencia del sistema integrado es incorporar el elemento pull del JIT en el MRP. El sistema integrado es importante porque este se deshace de los mayores problemas del MRP y el JIT.

Con la aplicación del MRP se pudo tener coordinación entre las decisiones sobre inventarios, compras y producción, el cual es de gran beneficio para agilizar el proceso de producción y así brindar un buen nivel de servicio a sus clientes.

El MRP sencillo no tiene en cuenta las estaciones de trabajo ni el tiempo de procesamiento por ende no tiene en cuenta las capacidades, en cambio en el modelo propuesto se tiene como valor agregado el análisis de capacidad y el control COMWIP.

Se utiliza el CONWIP como mecanismo para el control de la ejecución de las ordenes en la planta, dado que el CONWIP maneja aspectos de la ideología JIT tales como el control de inventarios bajo señales de fabricación con respecto a una demanda actual, fortaleciendo el flujo de materiales y controlando el trabajo en proceso del sistema, lo que facilita la disminución de inventarios en proceso.

La implementación del sistema CONWIP se utiliza para la administración de los procesos, ya que este sistema se ajusta a las características actuales del proceso y cumple con algunos requisitos fundamentales del sistema, teniendo en cuenta que la línea de producción es dedicada prácticamente a la fabricación de un solo producto y que posee cuellos de botella constantes.

Un sistema CONWIP no responde bien ante cambios en el volumen o mezcla de productos, por lo tanto requiere que la línea de producción esté dedicada a pocos o sólo un producto, los cuellos de botella deben ser constantes y definidos. Una hora perdida en el cuello de botella, equivale a una hora perdida de todo el sistema, por lo tanto todas las demás máquinas deben trabajar para que el cuello de botella nunca pare.

Se logra realizar una integración específicamente de las características y la metodología de un sistema MRP en los niveles más altos de planificación, y un sistema CONWIP como una herramienta de control, específicamente en la planta.

Esto implico, el establecimiento de parámetros CONWIP que permitieron controlar las salidas del MRP.

El modelo presentado permite el aprovisionamiento de materia prima, subcomponentes y componentes en periodos anteriores a los requeridos, con el fin de optimizar los costos asociados a este proceso, costos específicamente relacionados con el almacenamiento y costo fijo de ordenar, por ende si es necesario el modelo prefiere mantener un inventario alto realizando pocos lanzamientos en tal caso de que el costo fijo de ordenar sea relativamente más alto de costo de tenencia de inventario logrando el equilibrio entre los costos.

Con la restricción CONWIP no se puede controlar directamente el inventario de salida ni las materias primas, por otro lado el parámetro n sirve para controlar el inventario en proceso, por lo cual indirectamente se controla el inventario de entrada y de salida, concluyendo en la superioridad del sistema CONWIP en el sentido de obtener la misma tasa de producción con menor inventario.

Los datos del caso estudio son relativamente ajustados por ende los parámetros de Demanda y lote mínimo de pedido son rígidos y no se dejan variar porque invalidan en modelo.

Al aumentar el inventario inicial el sistema ahorra costos de ordenar pero simultáneamente se incrementa el costo de permanencia del inventario, lo contrario pasa si se disminuye el inventario inicial al comienzo del horizonte de planificación y programación de la producción.

Al incrementar la capacidad gradualmente los costos de permanencia se reducen ya que hay mayor flujo de ítems, por lo tanto el inventario se evacua con mayor rapidez, una vez la capacidad se aumente el doble, el costo de permanencia se mantiene en una disminución estable pero insignificante, caso contrario pasa en el costo de ordenar al aumentar la demanda, ya que este costo aumenta en una proporción importante hasta que se duplica la capacidad, una vez se duplica la capacidad este costo se mantiene constante si se sigue incrementando la capacidad.

Finalmente el sistema propuesto aplica una metodología que logra integrar las características y ventajas del Plan de Requerimiento de Materiales y la Filosofía Justo a Tiempo, dando resultado a los factores claves de integración de tal forma que contribuye a solucionar las falencias que concierne al manejar estos sistemas de producción de forma aislada tales como; exceso de inventarios, la falta del control de la capacidad y retrasos en la producción, dando así cabalidad al cumplimiento del objetivo específico número uno.

Se realizó una revisión literaria dando cumplimiento al objetivo específico número dos, en la cual se genera una alimentación importante que ambienta las formas y metodologías de integración de donde se extraen valiosas ideas que permiten desarrollar las bases de la formulación del modelo propuesto, para lo cual fue escogido como modelo MRP básico el modelo desarrollado por David Woodruffy & Stefan Voß (2006) a partir de supuestos de no existencia de restricciones de capacidad, no permite incumplimiento o aplazamiento de la demanda, por tal motivo con este modelo básico de MRP se tiene la oportunidad de realizar modificaciones importantes y aportarle las características de un sistema justo a tiempo, por ende para darle cumplimiento al objetivo número tres se le ha sumado variables de inventario y restricciones de capacidad. Finalmente con el fin de integrar el MRP-JIT el modelo es completado con las bases del funcionamiento de un sistema CONWIP planteadas por Hopp W. et al. (1993), bajo el supuesto de limitar el inventario de proceso WIP.

El modelo propuesto fue viable en cuanto la propuesta de mejora en la programación de las operaciones del caso estudio, se obtuvieron resultados positivos ya que se logró reducir el inventario en proceso, garantizando el cumplimiento de la demanda, dando así cumplimiento al objetivo específico numero cuarto.

La herramienta desarrollada como modelo de programación es de uso viable en empresas de poca disponibilidad de espacio para almacenamiento de productos, ya que por lo general se prefiere que el espacio se aproveche para maquinaria porque son activos productivos, en vez de utilizarlo para almacenamiento de productos semiterminados; por ende el sistema integrado permite producir grandes cantidades de ítems con pequeños y controlados flujos de materiales, permitiendo así una mejor utilización del espacio productivo.

Se recomienda para futuras investigaciones ampliar el modelo de integración MRP-JIT teniendo en cuenta factores como el incumplimiento y aplazamiento de la demanda, para representar condiciones más reales del entorno.

9. BIBLIOGRAFÍA

Al-Halkim, L. A., & Jenney, B. W. (1991). “MRP, an Adaptive Approach”. International Journal of Production Economics, 25, 65-72.

Arroyave W. & Nuñes N. (2011). “Planeación Y Control De La Producción En Ambientes De Fabricación *Make To Order".* Universidad del Valle.

Bañegil T. (1991) “La Flexibilidad De La Producción Y El Sistema Just In Time En España. Análisis En Los Sectores: Automoción, Tecnologías De La Información, E Ingeniería Y Construcciones Mecánicas”, Universidad Autónoma de Madrid.

Baker, K.R. (1974). “Introduction to Sequencing and Scheduling”. John Wiley & Sons, New York.

Balanta Yesenia & Rincon Crispthofer (2012) “Integración MRP Y Métodos De Control De Piso”. Universidad del Valle.

Benton W.C. & Shin H. (1998). “Manufacturing planning and control: The evolution of MRP and JIT integration”. European Journal of Operational Research, 110, 411-440.

Bertrand JWM & Wortmann JC (1981) “Production control and information systems for component manufacturing shops”. El sevier Science, New York.

Blanco, Romero & Paez (2006) “Conwip un sistema de control de producción” Breaking Frontiers and Barriers in Engineering: Education, Research and Practice, Puerto Rico.

Cardenas D. & Urquiaga A. (2009). “Logística de operaciones: Integrando las decisiones estratégicas para la competitividad”. Revista Cubana de Ingeniería, Vol. XXVIII, No.1,

Champan Stphen N. (2006) “Planeación y control de la producción” Pearson Educación México.

Chase, R. &Aquilano, N. (1995). “Dirección y Administración de Producción y las Operaciones”, sexta edición. Irwin. España.

Chase, Richard; Jacobs, F. Robert; Aquilano, Nicholas J. (2009). “Administración de Producción y Operaciones”, duodécima edición. México: McGraw Hill.

Crespo Márquez Adolfo (1993), “Técnicas Push-Pull de Fabricación: Caracterización, Análisis y Alternativas”. Universidad de Sevilla.

David Woodruffy, Stefan Voß (2006) “Introduction to Computational Optimization Models for Production Planning in a Supply Chain”, New York: Springer, 24p.

Delgado Hidalgo Liliana & Toro Díaz Héctor Hernán. “Optimizing a two-echeloncapacity - constrained material requirement manufacturing systemusing a linear programming model”.Ingeniería e Investigación, Vol. 30, Núm.1, abril, 2010.Universidad Nacional de Colombia.

Discenza R. & Mc Fadden, F.R. (1988). “The Integration of MRP II and JIT Through Software Unification”, Production and Inventory Management, vol. 29, no. 4, pp. 49-53.

Domínguez Machuca, J. A., Gonzales, S. G., &Domínguez Machuca, M. A. (1995). Dirección De Operaciones. Aspectos tácticos y operativos en la producción y los servicios. En J. A. Machuca. Mc Graw Hill.

Everett E. Adam, Ronald J. Ebert,(1994).“Administración de la producción y las operaciones”, PHH Prentice Hall, Capítulo 5.

Forero Y. & Ovalle M. (2013). “Análisis de los Sistemas de Programación de la Producción en la Gran Empresa de la Región Centro Sur de Caldas-Colombia”. *Revista actualidad y nuevas tendencias.*

Framiñán J., González P.,Ruíz R. (2002) “Control de la producción mediante un sistema con inventario en proceso constante: CONWIP. Estado de la cuestión”, II Conferencia de Ingeniería de Organización, 2: 457–465.

Framiñán José M., González Pedro L., Muñoz Miguel A., Ruíz Usano Rafael (2003). “Ajuste dinámico de tarjetas en un sistema CONWIP”. V Congreso de Ingeniería de Organización Valladolid-Burgos, 4-5 Septiembre 2003

Fuente David & Priore Paolo (2002). “Desarrollo de un programa de gestión de la producción con nuevas herramientas informáticas”, Universidad de Oviedo.

Geraghty J. &Heavey C. (2005) “A review and comparison of hybrid and pull-type production control strategies”. OR Spectrum 27:435–457

Gutierrez Camilo (2006). “Comparación de sistemas de control de piso en presencia de recursos de capacidad limitada mediante simulación con Redes de Petri”

Hall W. (1986) “Syncro-MRP: combining kanban and MRP, the Yamaha PYMAC system. In: Driving the productivity machine: production planning and control in Japan”. American Production & Inventory Control Society, USA

Haynsworth.H.C. (1984) “A theoretical justification for the use of JIT scheduling”, Production and inventory management, Vol.25, Nº1.

Heizer J. & Rendell B. (2009). “Principios de Administración de Operaciones”. Séptima Edición Pearson Educación.

Hopp W., Spearman M., Duenyas I., (1993) “Economic Production Quotas for pull manufacturing systems”, IIE Transactions, 25, pp. 71-79.

Hopp, W.J. & Spearman, M.L. (2000). “Factory Physics: Foundations of Manufacturing Management”, 2nd ed. Irwin/McGraw-Hill.

Hopp, W. J., & Spearman, M. (2008).Factory Physics. Third Edition, New York: McGraw Hill.

Huang, C.C.& Kusiak, A. (1998). “Manufacturing Control with a Push-Pull Approach. International Journal of Production Research, 36 (1), 251 - 275.

Huang Min, Wang Dingwei & IpW. H. “A simulation and comparative study of the CONWIP, Kanban and MRP production systems in a cold rolling plant”. Production planning and Control. Vol. 9, 1998, pp. 803-812.

J.C. Ho, Y.-L. Chang (2001) “An integrated MRP and JIT framework”. Computers & Industrial Engineering 41, 173-185

Jimenez Elisa (2010). “Análisis de los sistemas de control de la producción Kanban y Conwip bajo escenarios de reprocesado”. Escuela Técnica Superior de Ingenieros, Sevilla.

Karmarkar (1989). “Getting Control of Just in Time”, Harvard Business Review, vol. 67, no. 5, pp. 122-131.

Katsuhiko Takahashi & Michio Soshirodab (1996), “Comparing integration strategies in production ordering systems”. Int. J. Production Economics 44 (1996) 83-89

Koh & Bulfin (2004).Comparison of DBR with CONWIP in an unbalanced production line with three stations .International Journal of Production Research , 391-404.

Lara J. &Tenemaza L. (2012) “Diseño de un Plan de Requerimientos de Materiales (MRP) a una empresa dedicada a la elaboración de empaques de cartón corrugado para el sector bananero.” Escuela Superior Politécnica Del Litoral.

Lee (1993). “A Recent Development of the Integrated Manufacturing System: A Hybrid of MRP and JIT”, International Journal of Operations and Production Management, vol. 13, no. 4, pp. 3-17.

Luna C. (2002) “Sistemas Justo a Tiempo: Administrando la Diferencia”. Universidad Autónoma de Nuevo Leon, Mexico.

Marín F. & Delgado J. (2000) “La técnica justo a tiempo y su repercusión en los sistemas de producción”. Economía industrial Nº 331

Maskell, B. (1989). “MRPII or Just In Time: Which Way to Productivity?”, Management Accounting, vol. 67, no. 1, pp. 34-35.

Maynard (1997). Manual Del Ingeniero Industrial.

Meza E & Santos D. (2011). “Auditoría Operativa al proceso de manufactura del Mosquitol de Laboratorios H. G., C. A., y el uso de modelos matemáticos para generar ahorros en costo y tiempo", Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL).

Monden (1994). “Toyota Production System. An Integrated Approach to Just In Time” (2nd ed. ed.). Chapman and Hall.

Morton, Thomas E. & Pentico, David W. (1993).“Heuristic Scheduling Sistems”.Jhon Wiley & Sons, Inc.

Nahmias, S. (2007). “Análisis de la producción y las operaciones.”5ta edición, McGraw Hill.

Olhager, J. & Östlund, B. (1990). “An Integrated Push-Pull Manufacturing Strategy”, European Journal of Operational Research, vol. 45, no. 2-3, pp. 135-142.

Paredes L. & Penagos J. (2012) “Análisis del impacto del control de la carga de trabajo sobre la cadena de suministro considerando el lead time”, Universidad del Valle.

Perez D. & Salazar J. (2007) “Diseño de un MRP planificación de requerimientos de materiales), para la empresa CEDAL S.A. en el área de producción.” Escuela Politécnica Nacional

Pun, K. F.; Chin, K. S.; Wong, K.H. (1998). “Implementing JIT/MRP in a PCB Manufacturer”, Production and Inventory Management, vol. 39, no. 1,

Rivera, F. y Durán, A. (2003).Tipología de Sistemas Combinados MRP-JIT.V Congreso de Ingeniería de Organización

Roderick, L.M., Phillips, D.T., & Hogg, G.L., (1992) “A comparison of order release strategies in production control systems”. International Journal of Production Research, 30:683-694

Schonberger, R.J. (1983). “Selecting the Right Manufacturing Inventory System: Western and Japanese Approaches”, Production and Inventory Management, vol. 24, no. 2

Sepehri, M. (1985). “Beyond MRP. The Just in Time Execution System”. Manufacturing Systems, vol. 3, no. 10, pp. 52-54.

SipperD. &Bulfin R. (1998) “Planeación y control de la producción” - McGraw-Hill

Spencer, M. (1994). “How "The Best" Companies use MRP and Just In Time for Successful Manufacturing”. Hospital Materiel Management Quarterly.

Graves S. (1999). “Manufacturing planning and control”, Work paper, Massachusetts Institute of Technology.

Suri R. (1998) Quick response manufacturing. Productivity Press, New York

Tamayo &Arquilla (2014) “Concepción de un procedimiento para la planeación y control de la producción haciendo uso de herramientas matemáticas”. Revista de métodos cuantitativos para la economía y la empresa.

Umble & Srikanth (1995). “Manufactura sincrónica. Principios para lograr una excelencia de categoría mundial”. Mexico. CECSA.

Vaibhav Jha (2012). “MRP-JIT Integrated Production System”. International Journal of Engineering Research and Applications (IJERA)

Vollmann, T. E., Berry, W. L., &Whybark, D. C. (1992). “Manufacturing Planning and Control Systems”. Irwin.

Vollmann, T.E; Berry, W.L.; Whybark, D.C. (1997). “Manufacturing Planning and Control Systems”.4th ed. McGraw-Hill.

Wong, C.M.& Kleiner, B.H. (2001). “Fundamentals of material requirements planning, Management Research News”. Volume 24.

10. ANEXOS

En este apartado se adjunta los parámetros del caso estudio con el cual se validó el modelo matemático y los resultados del modelo de integración MRP-JIT que se analizaron.

PARÁMETROS MODELO MATEMÁTICO CASO ESTUDIO

Tabla 7. Parámetros Caso Estudio.

Componente	Costo de ordenar	Costo de Permanencia por Contendor	Inventario Inicial Disponible en Contenedor	LT: Tiempo de Ciclo + Grado de Utilización (Turno)	Tiempo de Procesamiento de Contenedor (Hora)	Tamaño de Lote Mínimo
C1	8.162	163.249	28	1	0,32	1
C2	8.181	163.620	28	1	0,43	1
C3	5.864	117.281	0	2	0,87	1
C4	6.023	120.454	0	2	0,87	1
C5	5.088	101.756	0	1	0,49	1
C6	4.042	80.831	0	1	0,49	1
C7	5.088	101.756	0	1	0,55	1
C8	4.042	80.831	0	1	0,55	1
Material 1	913	9.128	0,18	9	0,000	1
Material 2	941	9.408	1,93	9	0,000	1
Material 3	42.444	424.440	3,61	9	0,000	0.14
Material 4	31.286	312.863	0,63	9	0,000	0.14
Material 5	37.304	373.039	3,55	9	0,000	0.01
Material 6	28.647	286.470	0,84	9	0,000	0.01
Material 7	8.826	88.256	6,09	9	0,000	0.17
Material 8	8.826	88.256	6,09	9	0,000	0.17

Fuente: Elaboración Propia.

RESULTADOS CASO ESTUDIO:

En la variable de lanzamiento de pedidos no hubo necesidad de lanzar hasta el periodo 7 en ítems de materias primas y el periodo 16 para ítems de proceso.

Tabla 8. Resultado variable X: Lanzamientos de pedidos

P	COMPONENTES											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	16
7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0
8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.8	0.0	0.0	0.0
10	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0
11	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0
12	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0
13	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0
14	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0
15	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0
16	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0
17	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	1.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0
18	0.0	0.0	1.0	0.0	1.0	0.0	1.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0
19	0.0	0.0	1.0	0.0	1.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
20	0.0	0.0	1.0	0.0	1.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0
21	0.0	0.0	1.0	0.0	1.0	0.0	1.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0
22	0.0	0.0	1.0	0.0	1.0	0.0	1.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0
23	1.0	0.0	1.0	0.0	1.0	0.0	1.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0
24	1.0	0.0	1.0	0.0	1.0	0.0	1.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0
25	1.0	0.0	1.0	0.0	1.0	0.0	1.0	0.0	0.0	1.0	0.1	0.0
26	1.0	0.0	1.0	0.0	1.0	0.0	1.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0
27	1.0	0.0	1.0	0.0	1.0	0.0	1.0	0.0	0.0	1.0	0.1	0.0
28	1.0	0.0	1.0	0.0	1.0	0.0	0.0	1.0	0.0	1.0	0.1	0.0
29	1.0	0.0	1.0	0.0	0.0	1.0	0.0	1.0	0.0	1.0	0.1	0.0
30	1.0	0.0	0.0	1.0	0.0	1.0	0.0	1.0	1.0	0.0	0.1	0.0
31	1.0	0.0	0.0	1.0	0.0	1.0	0.0	1.0	0.0	1.0	0.1	0.0
32	0.0	1.0	0.0	1.0	0.0	1.0	0.0	1.0	0.0	1.0	0.0	0.0
33	0.0	1.0	0.0	1.0	0.0	1.0	1.0	0.0	0.0	1.0	0.1	0.0
34	0.0	1.0	0.0	1.0	1.0	0.0	0.0	1.0	0.0	1.0	0.1	0.0
35	0.0	1.0	1.0	0.0	0.0	1.0	0.0	1.0	1.0	0.0	0.1	0.0
36	0.0	1.0	0.0	1.0	0.0	1.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.1	0.0
37	1.0	0.0	0.0	1.0	0.0	1.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0
38	0.0	1.0	0.0	1.0	0.0	1.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0
39	0.0	1.0	0.0	1.0	0.0	1.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
40	0.0	1.0	0.0	1.0	1.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0
41	0.0	1.0	1.0	0.0	0.0	1.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0

P	COMPONENTES											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	16
42	0.0	1.0	0.0	1.0	0.0	1.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0
43	1.0	0.0	0.0	1.0	0.0	1.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0
44	0.0	1.0	0.0	1.0	0.0	1.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
45	1.0	1.0	0.0	1.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
46	1.0	1.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
47	1.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
48	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

En la variable INV se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 9. Resultado variable INV: Inventario de cada ítem en cada periodo.

P	COMPONENTES										
	1	2	3	9	10	11	12	13	14	15	16
1	27.0	27.0	0.0	0.2	1.9	3.6	0.6	3.5	0.8	6.1	6.1
2	26.0	26.0	0.0	0.2	1.9	3.6	0.6	3.5	0.8	6.1	6.1
3	26.0	26.0	0.0	0.2	1.9	3.6	0.6	3.5	0.8	6.1	6.1
4	25.0	25.0	0.0	0.2	1.9	3.6	0.6	3.5	0.8	6.1	6.1
5	24.0	24.0	0.0	0.2	1.9	3.6	0.6	3.5	0.8	6.1	6.1
6	23.0	23.0	0.0	0.2	1.9	3.6	0.6	3.5	0.8	6.1	6.1
7	22.0	22.0	0.0	1.2	1.9	3.6	0.6	3.5	0.8	6.1	6.1
8	21.0	21.0	0.0	2.0	1.9	3.6	0.6	3.5	0.8	6.1	6.1
9	20.0	20.0	0.0	0.2	1.9	3.6	0.6	3.5	0.8	6.1	6.1
10	19.0	19.0	0.0	0.2	1.9	3.6	0.6	3.5	0.8	6.1	6.1
11	18.0	18.0	0.0	0.2	1.9	3.6	0.6	3.5	0.8	6.1	6.1
12	17.0	17.0	0.0	0.2	1.9	3.6	0.6	3.5	0.8	6.1	6.1
13	16.0	16.0	0.0	0.2	1.9	3.6	0.6	3.5	0.8	6.1	6.1
14	16.0	16.0	0.0	0.2	1.9	3.6	0.6	3.5	0.8	6.1	6.1
15	15.0	15.0	0.0	0.2	1.9	3.6	0.6	3.5	0.8	6.1	6.1
16	14.0	14.0	0.0	0.2	1.9	3.6	0.6	3.5	0.8	6.1	6.1
17	13.0	13.0	0.0	1.0	1.9	3.6	0.6	3.5	0.8	6.1	6.1
18	12.0	12.0	0.0	0.0	1.9	3.5	0.6	3.5	0.8	6.1	6.1
19	11.0	11.0	0.0	0.0	1.9	3.3	0.6	3.5	0.8	6.1	6.1
20	11.0	11.0	1.0	0.0	1.9	3.2	0.6	3.5	0.8	6.1	6.1
21	10.0	10.0	2.0	0.0	1.9	3.1	0.6	3.5	0.8	6.1	6.1
22	9.0	9.0	3.0	0.0	1.9	2.9	0.6	3.5	0.8	6.1	6.1

P	COMPONENTES										
	1	2	3	9	10	11	12	13	14	15	16
23	8.0	8.0	3.0	0.0	1.9	2.8	0.6	3.5	0.8	5.9	6.1
24	8.0	7.0	3.0	0.0	1.9	2.6	0.6	3.5	0.8	5.8	6.1
25	8.0	6.0	3.0	0.0	1.9	2.5	0.6	3.5	0.8	5.6	6.1
26	8.0	5.0	3.0	0.0	1.9	2.4	0.6	3.5	0.8	5.4	6.1
27	9.0	5.0	3.0	0.0	1.9	2.2	0.6	3.5	0.8	5.2	6.1
28	9.0	4.0	3.0	0.0	0.9	2.1	0.6	3.5	0.8	5.1	6.1
29	9.0	3.0	3.0	0.0	0.0	1.9	0.6	3.5	0.8	4.9	6.1
30	9.0	2.0	3.0	0.0	0.0	1.9	0.5	3.5	0.8	4.7	6.1
31	9.0	1.0	3.0	0.0	0.0	1.9	0.4	3.5	0.8	4.6	6.1
32	9.0	0.0	3.0	0.0	0.0	1.9	0.2	3.5	0.8	4.6	5.9
33	8.0	0.0	3.0	0.0	0.0	1.9	0.1	3.5	0.8	4.6	5.8
34	7.0	0.0	3.0	0.0	0.0	1.9	0.0	3.5	0.8	4.6	5.6
35	6.0	0.0	3.0	0.0	0.0	1.8	0.0	3.5	0.8	4.6	5.4
36	5.0	0.0	3.0	0.0	0.0	1.8	0.0	3.5	0.8	4.6	5.2
37	4.0	0.0	3.0	0.0	0.0	1.8	0.0	3.5	0.8	4.4	5.2
38	5.0	0.0	3.0	0.0	0.0	1.8	0.0	3.5	0.8	4.4	5.1
39	4.0	0.0	3.0	0.0	0.0	1.8	0.0	3.5	0.8	4.4	4.9
40	3.0	0.0	3.0	0.0	0.0	1.8	0.0	3.5	0.8	4.4	4.7
41	2.0	0.0	3.0	0.0	0.0	1.7	0.0	3.5	0.8	4.4	4.6
42	1.0	0.0	3.0	0.0	0.0	1.7	0.0	3.5	0.7	4.4	4.4
43	0.0	0.0	3.0	0.0	0.0	1.7	0.0	3.4	0.7	4.2	4.4
44	1.0	0.0	3.0	0.0	0.0	1.7	0.0	3.4	0.7	4.2	4.2
45	0.0	0.0	2.0	0.0	0.0	1.7	0.0	3.4	0.7	4.0	4.0
46	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	1.5	0.0	3.4	0.7	3.9	3.9
47	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.5	0.0	3.4	0.7	3.7	3.7
48	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	1.5	0.0	3.4	0.7	3.7	3.7

Fuente: Elaboración Propia.