

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA
INSTITUTO DE INGENIERÍA
MAESTRÍA Y DOCTORADO EN CIENCIAS E INGENIERÍA



AREA DE CONOCIMIENTO COMPUTACIÓN

**MODELO FLEXIBLE DE LA PLANEACIÓN
PARA UNA EMPRESA DE ALTA TECNOLOGÍA CON
CARACTERÍSTICAS DE ALTO VOLUMEN-ALTA MEZCLA**

TESIS

que para obtener el grado de

MAESTRO EN INGENIERIA

presenta

EDDY MARTIN DELGADO ARANA

DIRECTORA

Dra. Larysa Burtseva

CODIRECTORA

Dra. Brenda L. Flores Rios

RESUMEN de la Tesis de Eddy Martín Delgado Arana, presentado como requisito parcial para la obtención de grado de MAESTRO EN INGENIERIA, Mexicali, Baja California, Junio de 2016.

MODELO FLEXIBLE DE LA PLANEACIÓN PARA UNA EMPRESA DE ALTA TECNOLOGÍA CON CARACTERÍSTICAS DE ALTO VOLUMEN-ALTA MEZCLA

Resumen aprobado por :

Dra Larysa Burtseva
Directora de Tesis

Dra. Brenda L. Flores Rios
Codirectora de Tesis

Esta investigación se enfoca en el sistema de planeación en área de prueba eléctrica en la industria de semiconductores, donde se desarrolló una serie de modelos que permiten un mejor aprovechamiento de la capacidad de los recursos instalados. Para ello se apoya en la teoría de grupos y el estudio de flujos de información y conocimiento con el objetivo de minimizar los tiempos de ajuste en los equipos por cambio de herramienta. Se propone un cambio de paradigma, con el cual la planeación se realiza a nivel de familia de productos más que a nivel de número de parte, iniciando siempre con productos prioritarios por parte del mercado.

Palabras clave: planificación de la producción, cambio de herramienta, familia de productos, taller de flujo híbrido, semiconductores, prueba eléctrica.

ABSTRACT of the thesis, presented by Eddy Martín Delgado Arana, as a partial requirement to obtain the MASTER IN ENGINEERING, Mexicali, Baja California, June, 2016.

FLEXIBLE MODEL FOR PRODUCTION PLANNING IN A HIGH-TECH COMPANY WITH CHARACTERISTICS OF HIGH VOLUME-HIGH MIXING

Approved by:

Dr. Larysa Burtseva
Thesis Supervisor

Dr. Brenda L. Flores Rios
Thesis Co-Supervisor

This research focuses on the planning system in the areas of electrical test of the semiconductor industry. This model allows the best use of the installed capacity. For this the group theory that minimizes the machine idle time due to tooling setup is used. A paradigm shift is proposed to plan the production on the family level rather than on the product level, focusing on the market priorities.

Keywords: production planning, group technology, tool setup, hybrid flowshop, semiconductors industry, electrical test.

ÍNDICE

1 INTRODUCCIÓN	1
1.1 Contexto de una empresa de semiconductores de alta mezcla y alto volumen	1
1.2 Planteamiento del problema	2
1.3 Objetivos	4
1.4 Metodología	5
1.5 Esquema general de la tesis	5
2 SISTEMAS DE PLANIFICACIÓN Y CONTROL EN MANUFACTURA	7
2.1 Cadena de producción	7
2.2 Flujo de producción híbrido para procesamiento en gran escala	10
2.3 Procesamiento en lote	11
2.3.1 Tecnología de grupos	11
2.3.2 Batching	13
2.3.3 Máquinas de procesamiento por lotes	14
2.4 Tiempos de preparación y cambio de herramienta	17
2.5 Similitud de productos	19
2.6 Conclusiones del capítulo	20
3 FLUJOS DE TRABAJO EN UNA EMPRESA DE ALTA TECNOLOGÍA	21
3.1 Captura y modelado de flujo de trabajo	21
3.1.1 Planificación general de la producción	21
3.1.2 Descripción del proceso específico de planificación de producción	23
3.1.3 Modelado de secuenciación de lotes	24
3.1.4 Taxonomía del cambio de herramienta	27
3.2 Análisis de flujos de conocimiento	31
3.2.1 Taxonomías de tipos de conocimiento	31
3.2.2 Evolución de sistemas de planeación	34
3.3 Conclusiones del capítulo	36

4 FORMACIÓN DE FAMILIAS DE PRODUCTOS BASADA EN LA TECNOLOGÍA DE GRUPOS	38
4.1 Clasificaciones de atributos para el plan de producción	38
4.2 Definición de familia de productos	40
4.3 Familias de productos	41
4.5 Clasificación de familias de acuerdo al esquema ABC	42
4.6 Comprobación del beneficio del manejo de prioridades con el esquema ABC	44
4.7 Estudio de tiempos de cambio	52
4.7.1 Cambio de lote	52
4.7.2 Cambio de receta	52
4.7.3 Cambio de herramienta	53
4.7.4 Cambio de familia	54
4.8 Análisis de normalidad de los datos	55
4.8.1 Cambio de lote	55
4.8.2 Cambio de receta	57
4.8.3 Cambio de herramienta	60
4.8.4 Cambio de familia	64
4.9 Matrices de agrupación de las familias de productos	68
5 EXPERIMENTO COMPUTACIONAL	71
5.1 Diseño de la corrida de prueba	71
5.1.1 Selección de la familia de productos	71
5.1.2 Extracción de lotes procesados	71
5.1.3 Estándares de tiempo de procesamiento de producto	72
5.2 Definición de escenarios para la prueba	73
5.3 Análisis de resultados de los escenarios	73
5.3.1 Analisis de escenario de la propuesta	73
5.3.2 Analisis del Peor Escenario	74
5.3.3 Matriz comparativa de escenarios	79
6 CONCLUSIONES	76
REFERENCIAS	77

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Modelo de planificación general	3
Figura 2.1 El proceso de producción	7
Figura. 2.2 Sistema MRP-II	10
Figura 2.3 Representación gráfica del coeficiente de similitud	19
Figura 3.1 Proceso General de planificación de la producción APICS (2010)	23
Figura 3.2 Flujo general de planificación y control de la producción	24
Figura 3.3 Modelo general para secuenciar lotes	27
Figura 3.4 Modelo específico de la secuencia detallada de ordenes de productos por familias	30
Figura 3.5 Evolución de sistemas de planeación	34
Figura 4.1 Apoyo de geometrías del producto	40
Figura 4.2 Algoritmo para generar y mantener familias de producto por geometrías	41
Figura 4.3 Prioridad para secuencia de familias	44
Figura 4.4 Caso de secuencia por prioridad para demanda del período	44
Figura 4.5 Análisis de normalidad en cambio de lote	56
Figura 4.6 Análisis de normalidad en cambio de receta	57
Figura 4.7 Análisis de normalidad en cambio de receta por plataforma	58
Figura 4.8 Gráfica de intervalos para cambio de receta por plataforma	59
Figura 4.9 Análisis de normalidad en cambio de herramienta	61
Figura 4.10 Análisis de normalidad en cambio de herramienta por plataforma	62
Figura 4.11 Gráfica de intervalos para cambio de herramienta por plataforma	62
Figura 4.12 Análisis de normalidad en cambio de familia	64
Figura 4.13 Análisis de normalidad en cambio de familia por plataforma	65
Figura 4.14 Gráfica de intervalos para cambio de familia por plataforma	66
Figura 4.15 Morfología de la matriz de cambios dentro de la familia	68
Figura 4.16 Morfología de la matriz de cambios de herramienta entre familias	69
Figura 4.17 Matriz de tiempos de cambio de herramienta para familias de productos en las plataformas de prueba 1 y 2	70
Figura 5.1 Matriz de la Familia 8.15x5.6	71

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.1. Estándares de tiempos de cambio por tipo de máquina M1 y M2	26
Tabla 3.2 Esquemático del cambio de herramientas	29
Tabla 3.3 Estado que guardan los equipos durante su proceso productivo	31
Tabla 3.4. Modelo de datos, información y conocimiento	33
Tabla 4.1 Características del portafolio de productos	38
Tabla 4.2 Contraste de método actual y método propuesto	39
Tabla 4.3 Inventario de herramientas de manejadoras y probadoras	39
Tabla 4.4 Relación de volumen de producto – tipo – geometría	41
Tabla 4.5 Agrupación de familias de producto tipo A (alto volumen, alta frecuencia)	42
Tabla 4.6 Agrupación de familias de producto tipo B (volumen medio, frecuencia media)	42
Tabla 4.7 Agrupación de familias de producto tipo C (bajo volumen, baja frecuencia)	43
Tabla 4.8 Volumen de demanda requerida por cada familia	45
Tabla 4.9 Horas totales requeridas para procesar la demanda	45
Tabla 4.10 Requerimiento de máquina	46
Tabla 4.11 Cálculo de cantidad de lotes y tiempo de máquina requerido por concepto de cambio de lote	46
Tabla 4.12 Cálculo de cantidad de cambio de recetas requeridas por familia de productos	47
Tabla 4.13 Compatibilidad de herramienta por número de parte	48
Tabla 4.14 Cálculo de cantidad de cambios de herramientas requeridas por familia de productos	49
Tabla 4.15 Requerimiento acumulado de máquinas por familia	50
Tabla 4.16 Cálculo de horas requeridas por operación en esquema de planeación tradicional	50
Tabla 5.17 Tiempos de cambio en el esquema tradicional	51
Tabla 4.18 Tiempos de cambio de lote	52
Tabla 4.19 Tiempos de cambio de receta	53
Tabla 4.20 Tiempos de cambio de herramientas	53
Tabla 4.21 Tiempos de cambio de familia	54
Tabla 5.1 Parcial de volúmenes por número de parte de la familia 8.15x5.6	72
Tabla 5.2 Estándares de producto	74

Tabla 5.3 Fechas de inicio y terminación por escenario	74
Tabla 5.4 Comparación de escenarios expresada en Delta días	74

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Contexto de una empresa de semiconductores de alta mezcla y alto volumen

La planificación de la producción en las empresas es un proceso, por el cual los departamentos manufactureros organizan sus recursos de maquinaria en el tiempo con el objeto de optimizar su uso y conseguir así la mayor productividad posible. Si bien, la planificación es una problemática común a cualquier empresa, no se ha resuelto de forma sistemática dado el gran número de variables que afectan a las decisiones que se deben tomar, y que hacen muy difícil la formalización de estos procesos (Jacobs, 2011).

Lamentablemente, los imprevistos ocurren, el cumplimiento de la planificación realizada impide (Por ejemplo: problemas de calidad, procesos fuera de control, el mal tiempo, tráfico en las carreteras, entre otros), y un ajuste del Plan de producción se requiere. Los imprevistos son usualmente fuera de control, sin embargo, la planeación tiene que realizarse con todo detalle. A pesar de los contratiempos, que seguro aparecerán, es necesario planificar. Por lo tanto, el principal reto del planificador no es realizar la planificación en sí misma, sino ser capaz de reaccionar a los imprevistos sin perder la motivación para seguir planificando.

Mercado del negocio

En la industria de semiconductores, la fabricación de dispositivos electrónicos, ha sido desde sus inicios uno de los nichos más dinámicos desde sus inicios y hasta nuestra época. Se producen dispositivos con diversas aplicaciones y hoy en día, no se concibe el mundo, sin la existencia de los circuitos integrados o chips como son: enviar un mensaje de texto, recibir una canción en tu dispositivo reproductor, llenar una forma de aplicación, realizar una transferencia bancaria o pago de servicios desde el celular, entre otros.

Según reportes de grupos como Prismark Partners LLC, en el año 2010 se estipula que se ensamblaron alrededor de 185.1K millones de circuitos integrados en el mundo, desde los hoy históricos paquetes DIP, SOT, TSOP hasta los todavía típicos QFP, QFN, BGA, FBGA o COB, BOC, WLCSP y FCBGA entre otros¹.

¹ Consumer Report, Edición Agosto, 2012

La empresa de semiconductores de alta tecnología está posicionada en los mercados: automotriz, banda ancha, GPS, industrial, médico, militar, teléfonos inteligentes, entre otros.

Cartera de productos

La cartera de productos de la empresa incluye amplificadores, atenuadores, circuladores, demoduladores, detectores, diodos, acopladores direccionales, módulos frontales, híbridos, subsistemas infraestructura RF, aisladores, entre otros.

1.2 Planteamiento del problema

Para que un negocio que produzca y entregue al cliente volúmenes de 6 cifras diariamente, es necesaria una planificación y ejecución perfecta tanto por parte de los proveedores como de la producción. Si a esto se le agrega que el producto por sus dimensiones milimétricas es complejo de producir, requiere alta tecnología para poderlo hacer. El comportamiento de la demanda de mercado, cada día es menos predecible, lo que lleva a la necesidad de buscar un modelo que permita flexibilizar la actividad productiva sin perder competitividad.

El Plan Maestro de Producción (*Master Production Scheduling*, MPS) y la planificación de materiales (Material requirement planning MRP) determinan los compromisos semanales de entrega de cada volumen de productos al cliente, pero no el día o la secuencia en que estos deben procesarse en las instalaciones. La definición de las prioridades de los artículos que van a procesarse debe seguir algún criterio de optimización, como el costo, el tiempo de cambio de herramientas, o la importancia de los clientes.

La planificación detallada tiene como objetivo principal decidir la secuencia de trabajos que realizará cada recurso de la empresa en el horizonte de planificación más pequeño, posible (no será el mismo para todas las empresas, de acuerdo a lo expuesto en la Figura 1.1).

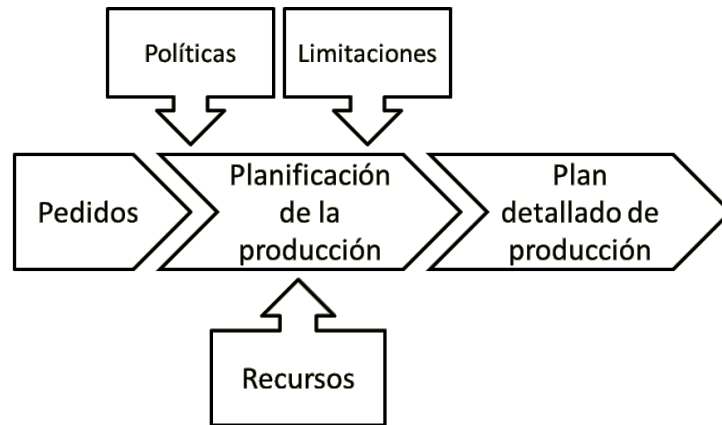


Figura 1.1 Modelo de planificación general

Sin embargo, en la ejecución del plan existe una capacidad limitada para realizar cambios de herramienta, lo que vuelve muy complicado que estos planes se cumplan exitosamente.

Además, la planificación tiene otros objetivos:

- Cumplir las fechas de entrega (*On Time Delivery*, OTD).
- Minimizar el tiempo de fabricación (*Completion Time*, CT).
- Minimizar el costo de producción.
- Minimizar el Inventario en proceso (*Work In Process*, WIP).
- Maximizar la utilización de los recursos (*Overall Effectiveness of Equipment*, OEE).
- Minimizar los plazos de entrega (*Lead Time*, LT).

Paradójicamente, cuanto mayor es el número de limitaciones en los procesos de la empresa, más fácil resulta planificar la producción. Sin embargo, la programación propuesta no será, en ningún caso, eficiente. Por ejemplo, si cada trabajo sólo se programa en un tipo de máquina, la ruta es fija, el lote de producción mínimo está fijo, y los tiempos de cambio son elevados. En tales situaciones las combinaciones de trabajos para formar distintas secuencias son escasas. Por lo tanto, la principal consecuencia de la programación de la producción es la posibilidad de descubrir los cuellos de botella o restricciones de capacidad en los procesos de la planta. La planificación se considera como una fuente de proyectos de mejora, tratando de eliminar restricciones que “dificultan” la definición de la secuencia.

Como consecuencia de la programación de la producción se sabe cuándo se terminarán los pedidos que han hecho los clientes. En ocasiones, es preciso dar una fecha de entrega al cliente

cuando realiza el pedido. Una fecha demasiado tardía o demasiado optimista estropea, en algunos casos, las relaciones con el cliente o conducir a sanciones. La principal consecuencia de la programación de la producción es la posibilidad de descubrir los puntos débiles de la planta.

Existen metas contrapuestas a la hora de elegir la mejor forma de ordenar los trabajos:

- Si se busca una buena utilización de los recursos, el plazo será peor y, por lo tanto, aumentará el coste de stock y los retrasos.
- Si se busca minimizar el tiempo de entrega de los productos, el stock en curso será menor, pero la utilización de los recursos será peor.

1.3 Objetivos

Objetivo general:

Desarrollar un modelo flexible para la planificación de manufactura en el área de prueba eléctrica, para aumentar la eficiencia de la capacidad instalada en una empresa de semiconductores de alta tecnología, con características de alta mezcla y alto volumen.

Objetivos específicos:

- ❖ Desarrollar una lista de productos que cumpla con ciertas condiciones de similitud para su agrupación en familias.
- ❖ Analizar el flujo de material para crear un modelo de flujo de conocimiento que permita secuenciar y linearizar las salidas de productos.
- ❖ Encontrar el balance entre las familias de productos con características similares que permite mantener un tiempo de ajuste o cambio despreciable para productos que pertenezcan a la misma familia y dedicar los equipos de acuerdo a las condiciones de mezcla – volumen que se tenga para determinado período.
- ❖ Desarrollar políticas para resolver el problema de planeación con las características mencionadas anteriormente.

Indicadores o métricas del proyecto

Entregas tiempo OTD > 95% y el Compromiso semanal en base al requerimiento MPS.

1.4 Metodología

- a) Definir, formalizar y medir el problema de planificación de la empresa.
- b) Estudiar las bases teóricas de planificación de la producción por lotes: batching de trabajos y tecnologías de grupos; splitting de lotes; tipos de ajuste (cambios de herramienta); bases para la creación de familias de productos. Estudiar políticas convenientes para la solución al problema.
- c) Analizar la situación actual del proceso de planificación, los flujos de información derivados y definición de áreas de oportunidad; Estudiar y actualizar los tipos de flujo en el piso de producción de la empresa.
- d) Desarrollar modelo de planificación para un negocio de alto volumen, alta mezcla en el área de prueba eléctrica.- Criterios de clasificación de producto; Definir listado de productos por familia; Seleccionar el vehículo de prueba para el modelo; Cuantificar los beneficios; Desarrollo de un modelo de planificación.
- e) Analizar estadísticamente los tiempos de cambio de herramienta y estratificación del cambio por su naturaleza.
- f) Realizar un experimento utilizando los datos de la empresa y realizar validación en campo en condiciones controladas.

1.5 Esquema general de tesis

El resto del documento está organizado de la siguiente manera:

En el capítulo 2, se revisa el marco teórico, sistema genérico de producción y planeación, particularidades de los sistemas híbridos, procesamiento por lotes, grupos tecnológicos, agrupación por familia de productos y tratamiento de los cambios de herramienta.

En el capítulo 3, se revisan los flujos de trabajo de una empresa que produce productos de alta tecnología con características de alta mezcla y alto volumen

En el capítulo 4, Se desarrolla el algoritmo de agrupación entre familias con base en la similitud y el tiempo de cambio entre productos; Se agrupan las familias de acuerdo a su volumen de corrida, de acuerdo al esquema ABC; se hace un estudio de tiempos a la operación

de cambio (lote, receta, herramienta y familia); se desarrollan estándares para ser utilizados por el modelo; los estándares son validados estadísticamente para asegurar que serán funcionales.

En el capítulo 5, se desarrolla el esquema de matrices de cambio por plataforma operativa, se establece alcance de simulación con datos reales y se contrastan los resultados para medir la eficiencia del algoritmo.

2. SISTEMAS DE PLANIFICACIÓN Y CONTROL EN MANUFACTURA

2.1 Cadena de producción

El proceso de producción se define como la transformación de las materias primas en productos finales, por lo general a través de una serie de pasos de transformación produciendo y consumiendo productos intermedios. Las materias primas, los productos intermedios y los finales a menudo son inventariados, permitiendo producir y consumir en diferentes medidas y momentos.

Cada etapa de transformación requiere varios productos de entrada y produce una o varias salidas. Las materias primas se adquieren a través de proveedores, y los productos finales se venden a clientes externos. A veces, los productos intermedios también son vendidos (repuestos, etc.). Esta definición general de la producción como un proceso de transformación se muestra en la Figura 2.1, donde el inventario de material está representados por triángulos, los procesos de transformación se denotan por círculos, y el flujo de materiales que ocurre durante el proceso (es decir, en las entradas o salidas de los pasos durante la transformación) se indica por flechas.

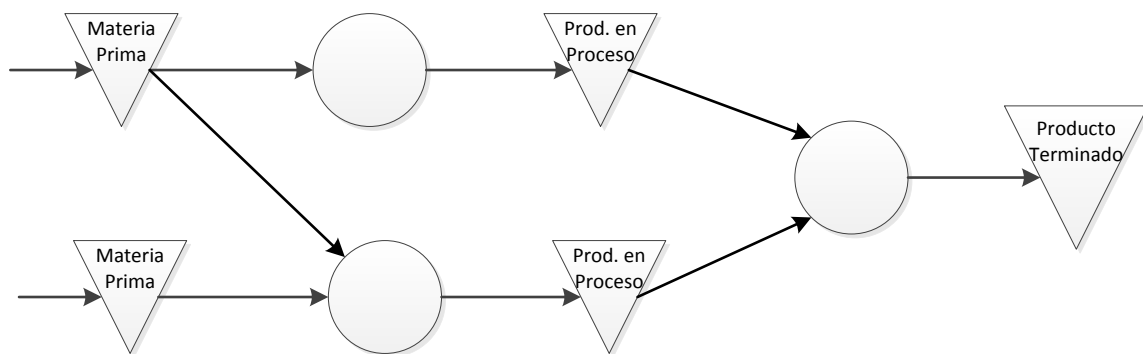


Figura 2.1 El proceso de producción

La planificación de la producción incluye los recursos necesarios para llevar a cabo los pasos de transformación de material prima en productos finales, con el fin de satisfacer a los clientes de la forma más eficiente o económica según [Cheng y Grupta \(2008\)](#). En otras palabras, las decisiones hechas durante la planificación son típicamente tomadas buscando el mejor equilibrio entre los objetivos financieros, la atención al cliente y los objetivos de satisfacción. Los objetivos financieros suelen estar representados por los costos de producción para: máquinas, materiales, mano de obra, costos de puesta en marcha, los gastos generales, los costes de inventario, costos de oportunidad del capital invertido en las acciones, seguros.

Los objetivos del servicio al cliente están representados por la capacidad de ofrecer el producto adecuado, en la cantidad solicitada, en la fecha y lugar prometidos.

Según [Anthony \(1965\)](#) y [Salomón \(1990\)](#), entre otros, los problemas de planificación de la producción se clasifican en: problemas estratégicos, tácticos y de planificación operacional.

Los problemas estratégicos lidian con la gestión del cambio en el proceso de producción y la adquisición de los recursos necesarios para producir. Esto incluye, por ejemplo, la combinación de productos, diseño de plan, así como la ubicación, el diseño de la cadena de suministro y las decisiones de inversión. El objetivo que se persigue en la solución de estos problemas estratégicos es mantener la ventaja y la capacidad competitiva, para mantener el ritmo de crecimiento. Para ello es necesario modelar las decisiones a largo plazo utilizando para ellos volúmenes consolidados de demanda.

Los problemas en la planificación táctica analizan la utilización de recursos a mediano plazo en base de la información volúmenes consolidados. Consiste, por ejemplo, en la toma de decisiones sobre el flujo de materiales, tamaño del inventario, la capacidad de utilización, planificación del mantenimiento por parte de la gerencia operativa. El objetivo habitual en esta etapa es el mejorar la eficiencia de costos y la satisfacción del cliente.

Los problemas de la planificación operacional tienen por objetivo el control de la ejecución de las tareas de producción. Por ejemplo, la secuenciación de trabajos; las entradas y salidas de los modelos de análisis encajan en esta categoría. Aquí, el objetivo es obtener una ejecución eficiente y precisa de los planes, en un muy corto plazo, y con el uso de información muy detallada.

Los sistemas de planificación y control de Manufactura (MPC) ([Vollmann et al., 2004](#)) se han desarrollado para hacer frente a estos entornos complejos de planificación, e integrar estos problemas de “Planificación a plazos múltiples” (de varios niveles) en un solo sistema de gestión. En la Figura 3 se describe cómo los problemas de planificación táctica y operativa se integran en los sistemas de planificación clásica de recursos de fabricación (MRP-II), un ejemplo de sistema de MPC.

En estos sistemas, la planificación de la producción a mediano plazo (PP) consiste en la decisión sobre cómo utilizar la capacidad y los niveles agregados o globales de inventario para

satisfacer la demanda proyectada a un mediano plazo de aproximadamente un año. Es necesario un horizonte de mediano plazo para tener en cuenta algún patrón estacional en la demanda.

El plan maestro de producción (MPS) consiste en una detallada planificación a corto plazo de la manufactura de los productos finales, a fin de satisfacer la demanda prevista, así como el pedido de los clientes, teniendo en cuenta la utilización de la capacidad y los niveles de inventarios globales decididos en la etapa de producto en proceso (PP). Aquí el plazo de tiempo se expresa generalmente en semanas y corresponde a la duración del ciclo de producción. En la planificación de requerimientos de material (MRP-I) se establecen los planes a corto plazo para todos los componentes (productos intermedios y materias primas) de los productos finales decidido en la fase de MPS y de la base de datos de la estructura del producto (listas de materiales).

Luego, los sistemas de control de planta (para fabricación de componentes) y los sistemas de seguimiento de proveedores (para la compra de componentes) controlan la ejecución a muy corto plazo de los planes desarrollados en la fase de MRP-I. El plazo de tiempo en esta última etapa es por lo general de unos pocos días.

Otros conceptos y sistemas bien conocidos de planificación de la producción se ajustan a esta planificación general de fabricación y de control. El sistema MRP-II representado en la Figura 2.2 incorpora a el sistema MRP I original, definido por [Orlicky \(2003\)](#), y sigue los principios de planificación de producción jerárquica (HPP) definidos por [Hax y Meal \(1973\)](#).

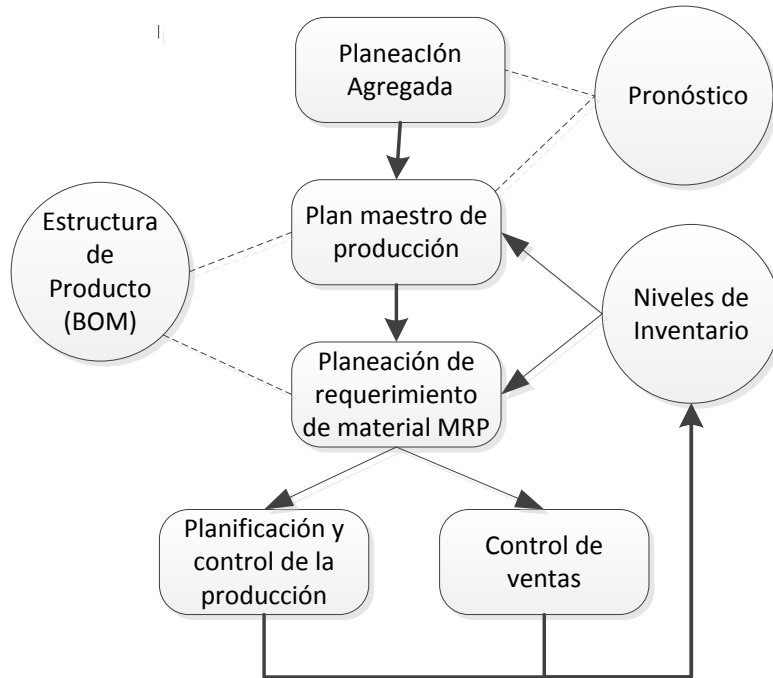


Figura 2.2 Sistema MRP-II

2.2. Flujo de producción híbrido para procesamiento en gran escala

El problema de programación en un taller de flujo híbrido (HFS) es una generalización del problema de flujo piso clásica que permite tener múltiples máquinas en paralelo en una etapa para aumentar las capacidades generales o para equilibrar las capacidades de las etapas, o bien para eliminar o reducir el impacto de cuello de botella en las capacidades de planta (Morita y Shio, 2005). Sin embargo, el número de variaciones de este problema es enorme. El HFS difiere de los problemas de línea de flujo flexible (Kochhar y Morris, 1987) y el flujo de piso flexible (Santos et al., 1995).

En una línea de flujo flexible, así como en un flujo de piso flexible, las máquinas disponibles en cada etapa son idénticas. El HFS no tiene esta restricción, en este, algunas etapas tienen un solo equipo, y en al menos una etapa se tiene un grupo de máquinas en paralelo. Estas máquinas pueden ser idénticas sin embargo lo normal es que sean de diferentes capacidades. El flujo de productos es unidireccional. En un HFS clásico, cada trabajo es procesado por un

máximo de una máquina a cada etapa y en una sola máquina a la vez. El tiempo de procesamiento en las etapas se conoce para cada trabajo.

El HFS donde hay máquinas paralelas en ciertas etapas es muy común en las industrias, que tienen la misma ruta tecnológica para todos los productos como una secuencia de etapas. HFS tiene importantes aplicaciones en sistemas de fabricación flexible (FMS), tales como la electrónica y las industrias de fabricación de muebles, de proceso. Tales como química, textil, metalúrgica, semiconductores, plantas de fabricación de placas de circuitos impresos, farmacéutica, petróleo, alimentos, automóvil fabrica, sistemas de acero haciendo, etc. -ver, por ejemplo, [Tang et al. \(2002\)](#), [Jin et al. \(2002\)](#), [Mathirajan y Sivakumar \(2006\)](#) y [Yaurima et al. \(2009\)](#) -. Aunque la programación de HFS ha atraído el interés de la comunidad científica, que se refleja en las contribuciones de la literatura que cubren éste problema en particular; el problema de procesamiento de lotes en éste tipo de talleres no ha ganado todavía suficiente atención.

2.3 Procesamiento en lote

2.3.1 Tecnología de Grupos

Los productos fabricados en una planta con frecuencia tienen similitudes técnicas; por lo tanto, este problema de asignación efectiva se resuelve por medio de agrupaciones que cumplen criterios relacionados con sus atributos de diseño o fabricación, como parte forma, tamaño, textura de la superficie, tipo de material, raíces materia prima. Las similitudes técnicas de los productos dentro de parámetros establecidos para el grupo reducen esencialmente el número de configuraciones en una máquina. En consecuencia, el tiempo de fabricación se reduce y se mejora el tiempo de uso de la máquina. Esta idea fue adaptada como la Tecnología de Grupos (*Group Technology*, GT) ([Cheng et al., 2008](#)).

La Tecnología de Grupos es un enfoque cuyo objetivo principal es lograr la eficiencia de producción de alto volumen, explotando las similitudes de los distintos productos y actividades en su producción/ejecución ([Cheng et al., 2008](#)). El concepto de GT se basa en la simplificación y proceso de normalización, y de acuerdo con [Burbidge \(1975\)](#) aparecieron en principios del siglo 20. Numerosas empresas de fabricación han aprovechado de GT para mejorar la

productividad y la competitividad, ver por ejemplo, [Wemmerlov y Hyer \(1989\)](#), [Tatikonda y Wemmerlov \(1992\)](#), [Hadjinicola y Kumar \(1993\)](#) y [Gunasekaran et al. \(2001\)](#).

Las primeras publicaciones acerca de la programación en entornos de GT se remontan a [\(Petrov 1966\)](#). El GT surgió originalmente como un único concepto de máquina que se creó para reducir los tiempos de preparación [\(Mitrofanov, 1966\)](#). Esto se extendió al problema HFS con tiempos de preparación dependientes de la secuencia de trabajo [\(Li, 1997\)](#). Después se introdujo el concepto de coeficiente de similitud entre cada uno de los productos, cuyo rol original como parámetro, permitiendo que los productos que se agrupan a través de un método heurístico; y contrario al concepto básico de la explotación de las similitudes (tomado de la filosofía GT) [\(Andrés et al. 2005\)](#)

El primer enfoque permite a los ingenieros de diseño para recuperar los dibujos existentes de apoyo a la estandarización del diseño de nuevas piezas y hacer una estimación precisa de los costos. El segundo produce mejoras en el proceso de control, la reducción del tiempo de preparación y planes de procesos estandarizados [\(Kusiak, 1987\)](#).

Desde el paradigma GT, surgen dos conceptos importantes, la familia de productos y lotes. Se supone que los trabajos son divididos en F familias, $F \geq 1$. Un lote es un conjunto de órdenes de trabajo de una misma familia que se procesa en forma conjunta [\(Brucker, 2004\)](#). La preparación de lotes se produce sólo si los costos de cambio de herramental o tiempos no son insignificantes y varios de una misma familia tienen que ser producido. El tiempo de procesamiento depende sólo de la familia del lote. Cuando el tratamiento se realiza en trabajos de artículos idénticos (lotes), las operaciones se ejecutan simultáneamente.

El plazo de ejecución de todos los trabajos en un lote es la hora de finalización de la última tarea en el lote. Una vez que el procesamiento se inicia, un lote no se puede interrumpir, ni haber otros trabajos. El motivo para acumular trabajos es ganar en eficiencia: los trabajos de procesamiento de un lote a la vez es más barato y más rápido que con el procesamiento individual [\(Potts y Kovaliov, 2000\)](#).

El término de la familia denota partición inicial de trabajo, mientras que el término de lote se utiliza para denotar una parte de la solución. La tarea de calcular el tamaño del lote es decidir cuántas unidades se debe procesar de forma consecutiva. En [\(Liu y Chang, 2000\)](#) se indica que el tamaño del lote debe ser optimizado, ya que el procesamiento en lotes grandes aumenta la

utilización de la máquina y reduce el tiempo total de cambio de herramienta. Sin embargo, el procesamiento por lotes grande aumenta el tiempo de flujo. Por lo tanto, una solución es beneficio entre el tiempo de flujo y la utilización de la máquina mediante la selección de tamaño del lote y en programación entra en discusión. De acuerdo con el GT, ninguna familia puede ser dividido, únicamente los lotes se de cada familia se ponen en la fila.

Muchas publicaciones utilizan el término “lote” para denotar la partición inicial de trabajo y utilizan diferentes nombres como sub - lote, sublote, etc., que denotan un conjunto de trabajos de la misma familia procesada de forma consecutiva en la misma máquina.

2.3.2 Batching

Los modelos para el cambio de herramienta son particionados en trabajos según su disponibilidad del material (Potts y Kovaliov, 2000). Según el material disponible de lotes, todos los trabajos del mismo lote estan listos para ser procesados en conjunto. Por ejemplo, esta situación ocurre si los trabajos de un lote son colocados en una canasta, y esta es movida de la maquina únicamente cuando todos lotes fueron procesados. En una asunción alternativa, el trabajo está disponible (Conocido en la literatura como la disponibilidad de artículos), con esto el trabajo esté disponible inmediatamente después de su procesamiento se ha completado y los tiempos de ejecución son independientes de otros trabajos en el lote.

El tiempo de procesamiento de un lote se calcula según Lushchakova y Strusevich (2010) como sigue:

- Alimentación en serie, también conocido como s-lote o "suma-batch", el tiempo de procesamiento de un lote es igual a los tiempos de procesamiento total de sus centros de trabajo.
- Alimentación en paralelo, también conocido como p-batch o " max-batch ", el tiempo de procesamiento de una lote es igual al tiempos de procesamiento más largo en los centros de trabajo.

Cuando el tamaño de las ordenes de trabajo son consideradas, el caso es un problema de lotes acotado si los tamaños totales de las órdenes de trabajo, contenidas en un lote, no deben exceder la capacidad del lote, es decir, $b > n$. Cada trabajo puede tener un tamaño diferente, el

número de órdenes de trabajo en cada lote puede ser diferente. Por otro lado, si se permite que cualquier número de órdenes de trabajo se contienen en un lote, es un llamado lote sin límites, respectivamente, $b \leq n$. En este caso, los lotes no están restringidos en procesar cualquier número de órdenes de trabajo (Yazdani y Jolai, 2010).

Cuando se completa un lote, el recurso tiene que ser adaptado para procesar el siguiente lote. El tiempo necesario para las actividades de cambio de herramienta depende de compatibilidad con la familia del lote siguiente. Un lote es llamado factible si se procesa sin ninguna adecuación de la herramienta.

2.3.3. Máquinas de procesamiento por lotes

En la literatura, el procesamiento paralelo de lotes se conoce como la máquina de procesamiento por lotes (BPM por sus siglas en inglés). Un BPM procesa varios trabajos al mismo tiempo. Diferentes trabajos pueden ser agrupadas, pero el tiempo de procesamiento del lote está dada por el tiempo de procesamiento más largo entre todos los centros de trabajo en el lote. Las BPM se encuentran en diferentes ambientes, como los procesos químicos realizados en tanques o los hornos operaciones en la industria de semiconductores.

Los problemas de planeación, relacionados con BPM ha tenido mucha atención en la literatura de planificación en los últimos años -ver (Lee et al. 1992), (Uzsoy, 1994), (Li, 1997), (Brucker et al. 1998), (Lee & Uzsoy, 1999), (Damodaran y Srihari, 2004), (Mathirajan y Sivakumar, 2006), (Damodaran et al. 2007) y (Manjeshwar et al. 2009). Los resultados de estas investigaciones son relevantes para un HFS, aunque se refieren a la sola BPM, paralelo BPMS, o taller de flujo de BPMS. Uzsoy (1994) describió una solicitud de operación de burn-in en fabricación de semiconductores. En documentos de Damodaran et al. (2007), Liao y Huang (2008), Manjeshwar et al. (2009), se han proporcionado las aplicaciones de BPM en la industria química etapa de tratamiento en la llanta (para bicicletas) instalaciones de fabricación y en las cámaras de la estrés ambiental cribado en el entorno de ensamblaje de la placa de circuito impreso, respectivamente.

Las dos decisiones importantes a ser tomadas por el BPM son:

- Agrupación de los lotes en familias de piezas, y

- Programación de los lotes para mejorar su medida de desempeño.

La principal clasificación de BPM está relacionada con los órdenes de familias incompatibles vs. órdenes de familias compatibles (Pérez et al., 2005). En el primer modelo, sólo los productos pertenecientes a la misma familia se procesan simultáneamente. Uzsoy (1995), Kempf et al. (1998), Dobson y Nambimadon (2001) desarrollaron algoritmos deterministas para planear familias con características incompatibles en BMPS. En el segundo modelo, se asume que los productos pertenecientes a familias alternativas pueden ser procesados simultáneamente - véase (Lee et al. 1992), donde el horno de quemado es modelado como un BPM. Debido a la complejidad, los problemas de programación BPM, en el alcance de la investigación se centran en BPMs individuales y paralelos. Pérez et al. (2005) y Quard y Kuhn (2007) investigan un problema de planeación s-batch para un HFS. Cada trabajo pertenece a un tipo específico de producto. Los costos de cambio de herramienta se incurren al cambiar una máquina a otro producto. En cada etapa, todos los trabajos tienen el mismo tiempo de procesamiento.

El objetivo es reducir al mínimo los costos de cambio de herramienta y el tiempo de ciclo. Para lograr eso se calculan la cantidad de cambios requeridos y flujos necesarios – ej. Máquinas en paralelo por familia de producto y flujo de proceso en todas sus etapas de producción. El objetivo principal es obtener una analogía del problema de planeación a un problema de embalaje de dos dimensiones y el desarrollo de un procedimiento de solución que utiliza esta analogía para resolver el problema original de planeación de un HFS.

Los algoritmos genéticos se utilizan como un marco para incorporar estos conceptos. Xuan y Tang (2007) abordaron el problema s -HFS por etapa de planeación de n -trabajos con s -lote procesamiento en la última etapa, y se redujera este problema a un HFS de dos etapas. El objetivo es minimizar el tiempo de finalización. Cuando los trabajos se agrupan en la etapa s , cada lote l tiene un tamaño b_l -i.e. dado consta de empleos - b_l . El tamaño del lote es diferente para todos los lotes. Todos los trabajos del mismo lote deben ser procesados en una máquina en la etapa s consecutivamente al tiempo que satisface las restricciones de precedencia dadas entre los trabajos dentro de este lote. Cada trabajo j tiene un peso y la espera de procesamiento de tareas entre dos etapas adyacentes provoca un costo de penalización. Un tiempo de cambio de herramienta es independiente de la secuencia. Se considera el tiempo de procesamiento independiente, antes de que se empiece a procesar el primer trabajo del lote. Cuando se anticipa,

el cambio de herramienta del siguiente lote, se inicia tan pronto como una máquina esté disponible para procesar el lote.

Un problema de programación HFS de dos etapas en una empresa de trabajo de metales es estudiado por [Luo et al. \(2009\)](#). La primera etapa consiste en múltiples máquinas en paralelo delimitada por lotes con trabajo modelo de disponibilidad, y la segunda etapa tiene una sola máquina. El tiempo de preparación se separa del tiempo de procesamiento y depende del anterior trabajo. Existe un entorno de bloqueo entre dos etapas sin almacenamiento en un buffer intermedio. En el mantenimiento de las máquinas que presentan alguna avería dos casos son explorados: el determinístico y el estocástico para la identificación del problema. El primero ocurre en una máquina de dos etapas con la hora de inicio y la hora final conocido de antemano. Esto último ocurre en una de las BPM paralelo en la primera etapa y una reprogramación en tiempo real un objetivo mas frecuente es minimizar el makespan. Los resultados de cálculo con los datos reales son favorables y superiores sobre los resultados de los horarios de manuales existentes.

Un HFS de dos etapas con varias máquinas de procesamiento de p-lotes delimitados idénticos se considera en el artículo de [Bellanger y Oulamara \(2009\)](#). El problema está motivado por la planeación de neumático en la industria manufacturera. Una relación de compatibilidad se define entre cada par de tareas, de manera que se obtiene un gráfico de compatibilidad no dirigida que resulta ser un intervalo numérico. El objetivo es tomar decisiones de dosificación y de secuenciación con el fin de minimizar el makespan. Dado que el problema es NP- duro, varias heurísticas se desarrollan junto con su análisis del peor de los casos. El caso en que las tareas tienen el mismo tiempo de procesamiento en la primera etapa también se considera, y un esquema de aproximación de tiempo polinomial (PTAS) algoritmo es presentada.

La revisión de lo descrito en las líneas anteriores, muestra que la literatura científica tiene muy pocas contribuciones. Uno de los principales factores que llevan a esta condición es que el BPM implica una alta complejidad computacional. Entonces sólo uno o dos etapas del proceso son investigados en la mayoría de los artículos.

2.4. Tiempos de preparación y cambio de herramienta

La estructura del tiempo de descomposición cuando un trabajo pertenece a una máquina incluye tres fases como sigue (Cheng et al., 2000):

1. Tiempo de ajuste de la máquina dependiente / independiente de la secuencia de los trabajos.
2. El tiempo de procesamiento del trabajo.
3. El tiempo de descarga del trabajo dependiente / independiente del trabajo que acaba de ser procesado.

El tiempo de cambio de herramental, se define como el tiempo requerido para cambiar de un trabajo a otro en un determinado máquina. Estas son separables y no separables de la operación del proceso. Los tiempos de preparación no separable pueden estar incluidos en los tiempos de procesamiento o ser insignificantes, y por lo tanto son ignorados. Existen algunas situaciones en las que la configuración no separable y la descarga de trabajos deben de ser secuenciadas y coordinadas entre los diferentes equipos que intervienen. Este tipo de situaciones son comunes en sistemas de producción automáticos que implican dispositivos de manipulación de materiales intermedios, como vehículos guiados automáticamente y robots, la carga y descarga (Crama, 1997), (Kim et al., 1997). Los tiempos de preparación separables no son parte de la operación de proceso productivo.

Cuando los tiempos de cambio no son despreciables en el problema de planeación, estos deben ser tratados de una manera explícita. En muchos problemas industriales de la vida real, como de montaje superficial tecnología o la fabricación de placas de circuito impreso, la configuración del trabajo no forma parte del tiempo de procesamiento y el tiempo requerido es dependiente de la secuencia. Cheng et al. (2000) presentan una interesante revisión de la investigación para un taller de flujo con tiempos de ajuste.

Los tiempos de ajuste separables podrían ser anticipatoria (individual) o no anticipada (que se adjunta). El ajuste es anticipado si se puede iniciar antes el trabajo esté en la máquina. En tal situación, el tiempo de inactividad de una máquina se utiliza para completar la instalación de un centro de trabajo en una máquina específica. De lo contrario, el ajuste no es anticipado, y las operaciones de ajuste sólo comienzan cuando el trabajo llega a una máquina siempre y cuando el

ajuste está unido al trabajo. Por otra parte, el tiempo de ajuste de un trabajo en una máquina específica podría depender del trabajo inmediatamente anterior a aquel trabajo o ser independiente.

Se propone el siguiente análisis del ajuste en el artículo de [Potts y Kovalyov \(2000\)](#). Sea $\{1, \dots, N\}$ el conjunto de trabajos a procesar y p_j es el tiempo de procesamiento de trabajo j , $j = 1, \dots, N$. Otros parámetros incluyen un r_j fecha de lanzamiento, un plazo, d_j debido, y un peso (prioridad) w_j . Los trabajos se agrupan en familias F . Donde n_j es el número de trabajos en la familia f , $f = 1, \dots, F$. No se requiere un ajuste entre trabajos de la misma familia. Sin embargo, el tiempo de preparación de la familia en máquina i cuando un trabajo de familia g es precedido inmediatamente por un trabajo de una familia diferente es f_g o si o_g si no hay un trabajo anterior. Si, para cada g , ocurre que si $f_g = o_g$ para todos $f \neq g$, entonces los tiempos de preparación de la máquina i son independientes de la secuencia; de lo contrario, son dependientes de la secuencia.

Si, para cada máquina i , si $f_g = S_{fg}$ para todas las familias f y g incluyendo el caso $f = 0$, entonces los ajustes son independientes de la máquina; de lo contrario, que dependen de la máquina. Para el caso de una sola máquina, tiempos de ajuste son, por definición, independientes de la máquina. Además, la razonable suposición es que hay una desigualdad triangular que se mantiene para cada máquina i , lo que significa que $s_{ifh} \leq s_{ifg} + s_{igh}$, para todas las familias distintas f , g y h , incluyendo el caso $f = 0$. A menos que se indique lo contrario, los tiempos de ajuste se supone se dan con anticipación, lo que significa que el ajuste de una máquina no requiere la presencia de cualquier otro tipo de trabajo. Cuando hay fechas de lanzamiento y por problemas de producción, a veces los ajustes permiten ser no anticipadas, lo que significa que la configuración anterior a la procesamiento de algunos lotes no se puede iniciar en el equipo actual antes de todos los trabajos de este lote son liberados y han completado su procesamiento en cualquier equipo.

La implementación ajustes menores en un problema HFS de dos etapas con partición de los trabajos familia la producción por lotes que se propone en [\(Li, 1997\)](#). Secuencia de ajustes de baño que son independientes es considerada en [\(Quard y Kuhn, 2007\)](#), [\(Xuan y Tang, 2007\)](#). Secuencia ajuste del baño dependientes se incluyen en el problema descrito por [Luo et al. \(2009\)](#).

2.5. Similitud de productos

Las familias de partes, determinadas por su fabricación y atributos de diseño no están necesariamente conectadas. Se propone un nuevo enfoque, en lugar del tradicional de similitud completa, sobre la base de atributos parciales. el enfoque de la propuesta funciona con un coeficiente de similitud entre las partes. La definición de éste coeficiente se resume en los siguientes tres criterios (Albarracín, 2004):

S1: Dos partes (A y B) pertenecen a la misma familia cuando el tiempo de cambio de A a B (B a A) es pequeño.

S2: Dos partes (A y B) pertenecen a la misma familia cuando el tiempo de cambio entre productos de cualquier parte (excepto A o B) es similar.

S3 : A la inversa, dos partes (A y B) pertenecen a la misma familia cuando el tiempo de cambio entre productos de A o B para cualquier otra parte es similar.

La primera (S1) afirmación se basa en la baja dificultad para ajustar las máquinas y para cambiar el diseño de A a B (B a A). La segunda declaración (S2) se basa en el hecho de que, cuando la configuración de cualquier parte de A o B es similar, ambos de ellos se puede tratar como una familia. El tercero es el mismo (S3) pero el caso inverso como el segundo comunicado. Figura 2.3 representa este mecanismo aplica a unacambio de herramental.

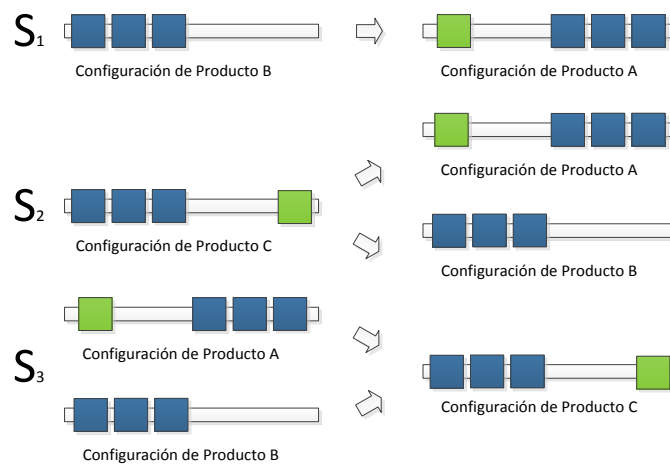


Figura 2.3 Representación gráfica del coeficiente de similitud, donde:

$$S_1 = S(i, j)^2 + S(j, i)^2,$$

$$S_2 = \sum_{k=1}^p (S(i, k) - S(j, k))^2,$$

$$S_3 = \sum_{k=1}^p (S(i, k) - S(j, k))^2.$$

La distancia d_{ij} es una función simétrica de valores reales que obedece los siguientes tres axiomas:

Reflexividad $d_{ii} = d_{jj} = 0$;

Simetría $d_{ij} = d_{ji}$;

Desigualdad triangular $d_{ij} < d_{ik} + d_{kj}$.

2.6 Conclusiones del capítulo

De acuerdo a lo revisado, podemos afirmar que las bases teóricas para el manejo de productos en asociación hacia familias existe, ello trae beneficios en la reducción de tiempo muerto por efecto del cambio de herramienta en las máquinas o ajustes en las mismas. En las siguientes secciones se definen las bases para poder hacer funcionar un modelo que funcione en el negocio, como se mencionó con características de alto volumen – alta mezcla.

3. FLUJOS DE TRABAJO EN UNA EMPRESA DE ALTA TECNOLOGÍA

En este capítulo se revisa el flujo de operaciones de planeación, la problemática actual que se tiene al realizar la planeación a nivel producto, el impacto de los tiempos de cambio de herramienta que existen y de cambios largos en la productividad del negocio. Además se definen los diferentes elementos que conforman el proceso productivo, apoyándose de la estructura del modelo de Datos – Información – Conocimiento (DIC).

Se presenta una propuesta de valor para estratificar los productos por familia, comenzando por la conceptualización de la misma, características en común para los productos que forman parte de ésta, hasta su separación de acuerdo a las categorías que se manejan en los inventarios ABC de acuerdo a su frecuencia de uso (Alto, Medio, Bajo).

Se presenta un nuevo modelo de planeación a nivel familia más que a nivel número de parte, el cual tiene como propósito, aprovechar plenamente la capacidad instalada y blindar el plan de producción para que se cumpla sin problemas.

3.1. Captura y modelado del flujo de trabajo

3.1.1. Descripción del proceso general de planificación de la producción

El proceso de planeación de la producción para Mexicali se apega al plan denotado en la Figura 3.1, mismo que a continuación se describe:

Cadena de Suministro (SCM) prepara el plan maestro, el cual es verificado y validado por Ingeniería Industrial (Análisis de capacidades) y Materiales (Inventario de Materia, MRP Prima) para revisar cualquier restricción física que retrasa el plan. Una vez validado el MPS, éste se distribuye a Control de la Producción.

Ingeniería Industrial recibe, valida y proporciona retroalimentación del plan maestro que indica las posibles limitaciones de la capacidad de producción a lo largo de la línea de producción. Es la responsabilidad del Departamento de Ingeniería Industrial para indicar si la

capacidad de probar producto final disponible en las instalaciones de Newbury Park, California es necesaria para la ejecución del plan maestro de producción².

Materiales recibe, valida y proporciona retroalimentación que indica las posibles restricciones en función de la disponibilidad de materiales.

Control de la producción desarrolla el plan de producción para la semana actual (n) y la siguiente semana ($n+1$). Revisa la propuesta de plan con SCM y acuerda el plan final. Prepara el plan diario de producción para la fábrica, en ésta actividad se realiza un plan para cada unidad de negocio (*Front End, Backend, Test*), mismo que tiene los siguientes objetivos a) Llenar la capacidad instalada, b) Alcanzar los niveles de absorción de costos requeridos, y c) Cumplir con los requerimientos de entrega de órdenes al cliente OTD. Libera las órdenes al piso de producción. Asegura la entrega del producto a tiempo de acuerdo al plan de envío de producto. OTD.

Cada área tiene un límite de cambios de herramienta que pueden ser tolerados sin afectar la cantidad de producto que el proceso da a la salida. El encargado de control de la producción se encarga de balancear el requerimiento de cambios en cada una de las áreas y mini compañías.

² Manual de procedimientos logísticos 2016

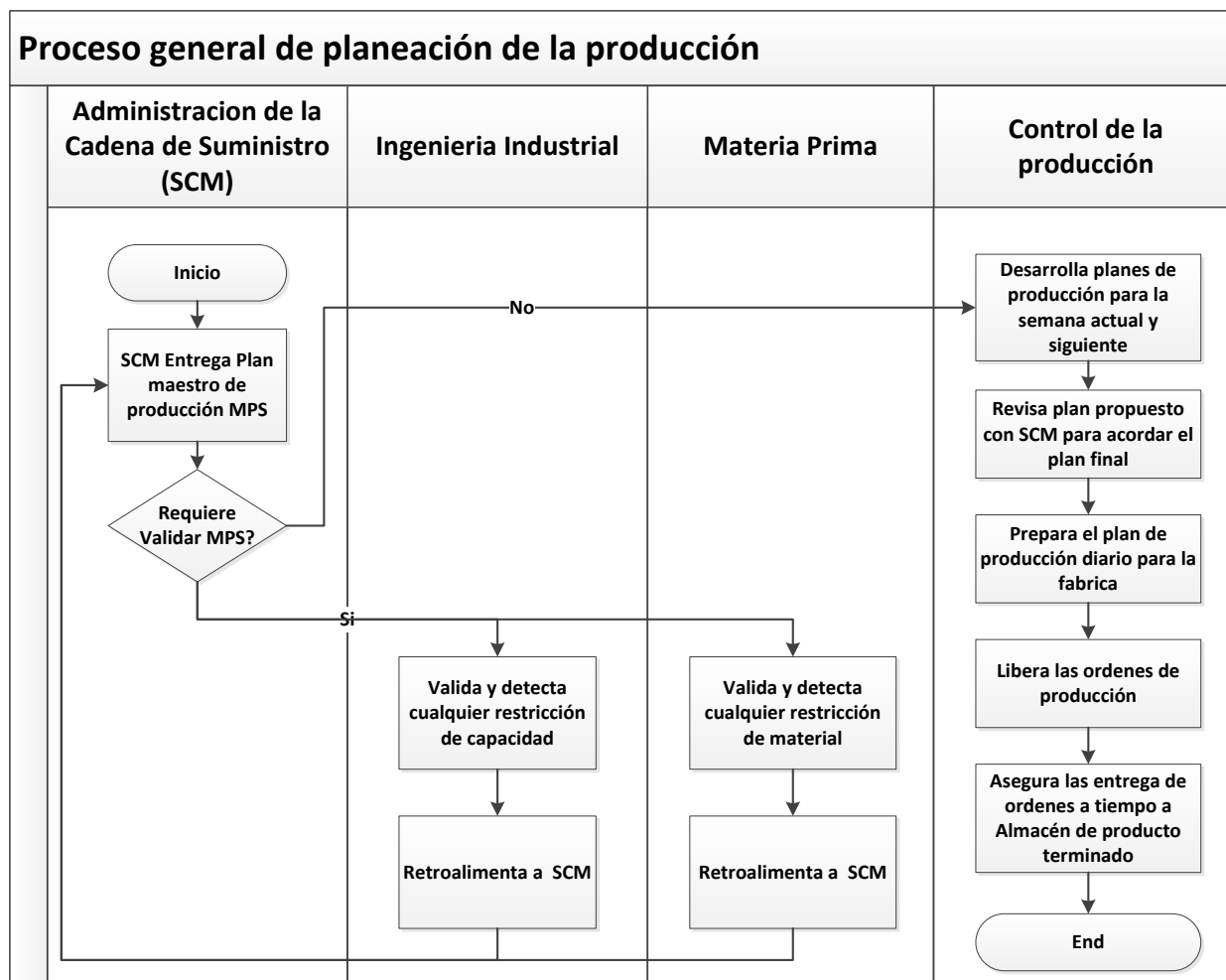


Figura 3.1. Proceso general de planificación de la producción APICS (2010).

3.1.2. Descripción del proceso específico de planificación de la producción

En la Figura 3.2 se muestra flujo de proceso de planificación de la producción por función en la empresa, en éste se aprecian las actividades que se realizan: a) Ingeniería Industrial, b) Cadena de suministro, c) Planificación de la producción, d) Almacén de materia prima, e) Almacén de herramientas, f) Supervisor de Prueba eléctrica y g) Supervisor de Post Test.

El modelo general de secuenciación de la empresa se muestra en la Figura 3.2. Como entrada se utiliza la señal de la demanda planteada por el MPS y el análisis de la capacidad; lo anterior se utiliza para definir la cantidad de equipos necesarios que deben estar asignados teóricamente a cada una de las familias, esto mediante la información de la demanda, conocimiento de las características del producto y sus flujos que proporcionan la información para obtener la clasificación al nivel familia y utilizar su prioridad de entrega al momento de secuenciar en el equipo. En el modelo, los trabajos son secuenciados de acuerdo a su prioridad: primero los que tengan la prioridad más alta (producido para la demanda), seguidos por los que tengan prioridad media (producido para el inventario) y concluyendo la secuencia de órdenes con la prioridad más baja (producido para el pronóstico).

Una vez priorizado empezamos con el proceso de asignación de lotes a los equipos, dependiendo del producto que se vaya a procesar. Este es igual al que se estaba corriendo en la máquina o distinto. Lo anterior da origen al tiempo para cambio de lote (Tabla 3.1). Si el producto que se va a cambiar pertenece a la misma familia y utiliza la misma herramienta (Hrrta.) de prueba (contactores), se debe realizar un cambio de receta. Si en su defecto los contactores son diferentes, entonces se debe realizar un cambio de herramienta de prueba. Únicamente en el caso de que la capacidad para procesar volumen de los equipos asignados a la familia de productos sean insuficientes para procesamiento de los lotes requeridos para cumplir con las entregas, se estaría incurriendo en un cambio de familia.

De acuerdo al tipo de cambio tenemos su duración. Estos tiempos primeramente están separados por los dos tipos de plataforma principal que tiene el proceso (M1 y M2), seguidos por tres niveles de tamaño de paquete.

Cuando se llega al último lote de la familia se obtiene el plan de secuencia óptima para la misma y se procede a regresar a la priorización de entregas y la asignación a equipos.

Tabla 3.1. Estándares de tiempos de cambio por tipo de maquina M1 y M2.

Tamaño de paquete	Tipo de cambio	M1 (Minutos)	M2 (Minutos)
M1 3 a 3.9	Cambio de lote	10 +/- 2.5	8 +/- 2
	Cambio de Receta	30 +/- 5.5	45 +/- 12.3
M2 1.6 a 2.8	Cambio de Hrrta.	90 +/- 13.2	135 +/- 51.4
	Cambio de Familia	290 +/- 62.3	430 +/- 93.2
M1 4 a 6.9	Cambio de lote	10 +/- 2.5	8 +/- 2
	Cambio de Receta	30 +/- 4.8	45 +/- 7.9
M2 2.9 a 4.5	Cambio de Hrrta.	90 +/- 7.8	98.2 +/- 35.4
	Cambio de Familia	210 +/- 42.1	340 +/- 38.4
M1 7 a 11	Cambio de lote	10 +/- 2.5	8 +/- 2
	Cambio de Receta	30 +/- 3.2	45 +/- 5.4
M2 4.6 a 5.5	Cambio de Hrrta.	90 +/- 6.2	89 +/- 22.1
	Cambio de Familia	170 +/- 33.5	260 +/- 25.1

Al llegar al último lote de la última familia, se obtiene el plan de producción para el período actual (Figura 3.3). El periodo normal de la secuencia es de una semana y el plan está hecho para empezar el día Sábado a las 12:00AM, y terminar el Viernes a las 11:59PM. Lo anterior significa que cada una de las máquinas tiene disponible de 168hrs, de acuerdo al estándar que se tiene en la empresa. Se contempla como holgura el 10% del tiempo disponible lo que nos deja únicamente 151.2 hrs semanales por equipo. Este tiempo debe de contener tiempo de producción, así como el tiempo de cambio respectivo.

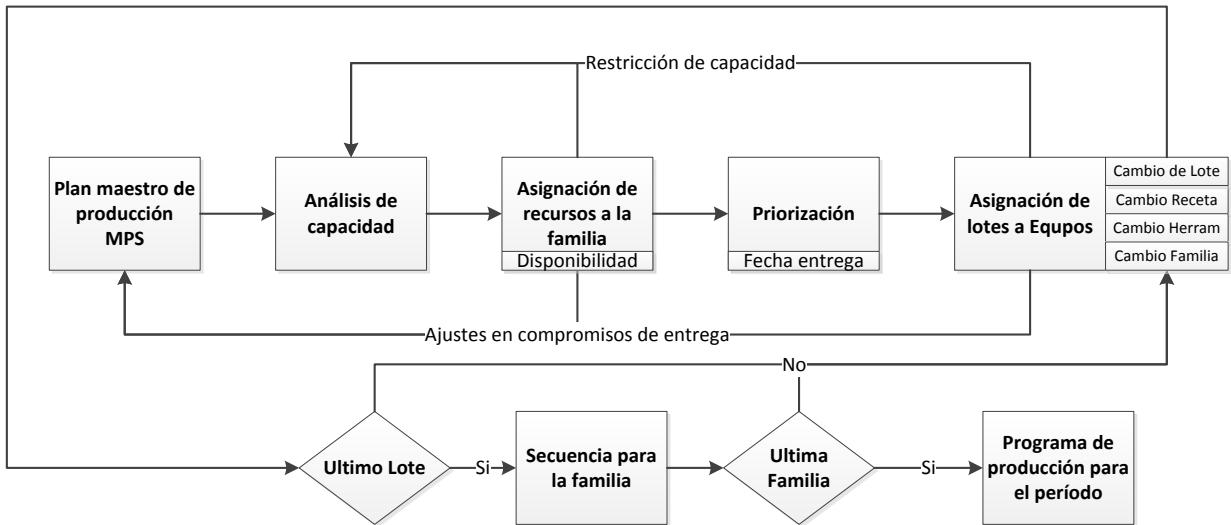


Figura 3.3 Modelo general para secuenciar lotes.

3.1.4 Taxonomía del cambio de herramienta

Todo cambio en el proceso conlleva a tiempo que el equipo no es productivo, es decir no está procesando productos, por tanto el planificar éstos cambios y reducirlos ayuda a mejorar la efectividad y resultados del negocio.

Se realizó un estudio de tiempos a los diferentes procesos de cambio en los equipos del área de prueba eléctrica encontrando los siguientes elementos, que consumen tiempo cuando se ejecutan y por tanto es necesario estudiarlos con detenimiento.

Lote: cuando se realiza éste cambio, se toma material sin probar del almacén y se coloca en el equipo. Esta actividad conlleva la limpieza interna para remover cualquier pieza suelta del lote anterior para eliminar riesgo de contaminación. Alta del lote en el equipo, colocar charolas con material por probar a la entrada de la manejadora y charolas vacías negras y rojas en los espacios de salida correspondientes. Para más detalle consulte Tabla 3.2.

Receta: cuando se realiza éste cambio, se busca la receta en la base de datos, se baja al equipo y se guarda. Se alimenta el lote y se llenan los formatos correspondientes para registrar el

cambio. Finalmente se actualiza la información en sistema de monitoreo. Para más detalle consulte la Tabla 3.2.

Herramienta: éste cambio se realiza siempre que se cambia producto y la simetría de contactores no coincide con la del producto anterior y consiste en los siguientes pasos: Desinstalación/Instalación de herramientas de prueba eléctrica, obtención del patrón de calibración, instalación del patrón, correlación de variables para calibrar la prueba eléctrica y finalmente retiro del patrón del equipo, el cual se retorna al almacén de herramientas. Para más detalle consulte la Tabla 3.2.

Familia: éste cambio se realiza siempre y cuando no existe compatibilidad geométrica (tamaño) en los productos de la secuencia y conlleva a la realización de las actividades como cambio en la manejadora, cambio de herramientas, cambio de receta y cambio de lote. Para más detalle consulte Tabla 3.2.

Se aprecia en la Tabla 3.2 que los tiempos de ejecución de cambio varían dependiendo del que se trate, siendo el menor el cambio de lote y el mayor es el que está relacionado con el cambio de familia. Con más detalle se abordarán estos tiempos de cambio en el siguiente capítulo del documento, en que se aprecia que el rango de tamaños en la familia también afecta los tiempos de ejecución del cambio.

Tabla 3.2 Esquemático del cambio de herramientas.

Tiempo de Cambio	Tipo	Características para del Cambio	Actividades
-	Cambio de Lote	<ul style="list-style-type: none"> Mismo producto 	<ul style="list-style-type: none"> Purga de equipo Sopleteo y limpieza Alimentación de nuevo lote
+	Cambio de receta	<ul style="list-style-type: none"> Producto diferente Misma Herramienta Misma Geometría 	<ul style="list-style-type: none"> Carga de receta Correlación Actividades de cambio de lote
++	Cambio de Herramienta	<ul style="list-style-type: none"> Producto diferente Herramienta diferente Misma Geometría 	<ul style="list-style-type: none"> Instalación de herramienta Ajuste fino Actividades de cambio de receta
+++	Cambio de Familia	<ul style="list-style-type: none"> Cambio de geometría 	<ul style="list-style-type: none"> Instalación de kit de manejadora Ajuste fino a la manejadora Actividades de cambio de herramienta

En la Figura 3.4 se muestra con más detalle la forma como opera el modelo de secuenciación propuesto para el área de prueba, mismo que nos va a ayudar a mejorar la confiabilidad de la ejecución del mismo, así como el nivel de certidumbre en su cumplimiento.

Secuencia de Ordenes

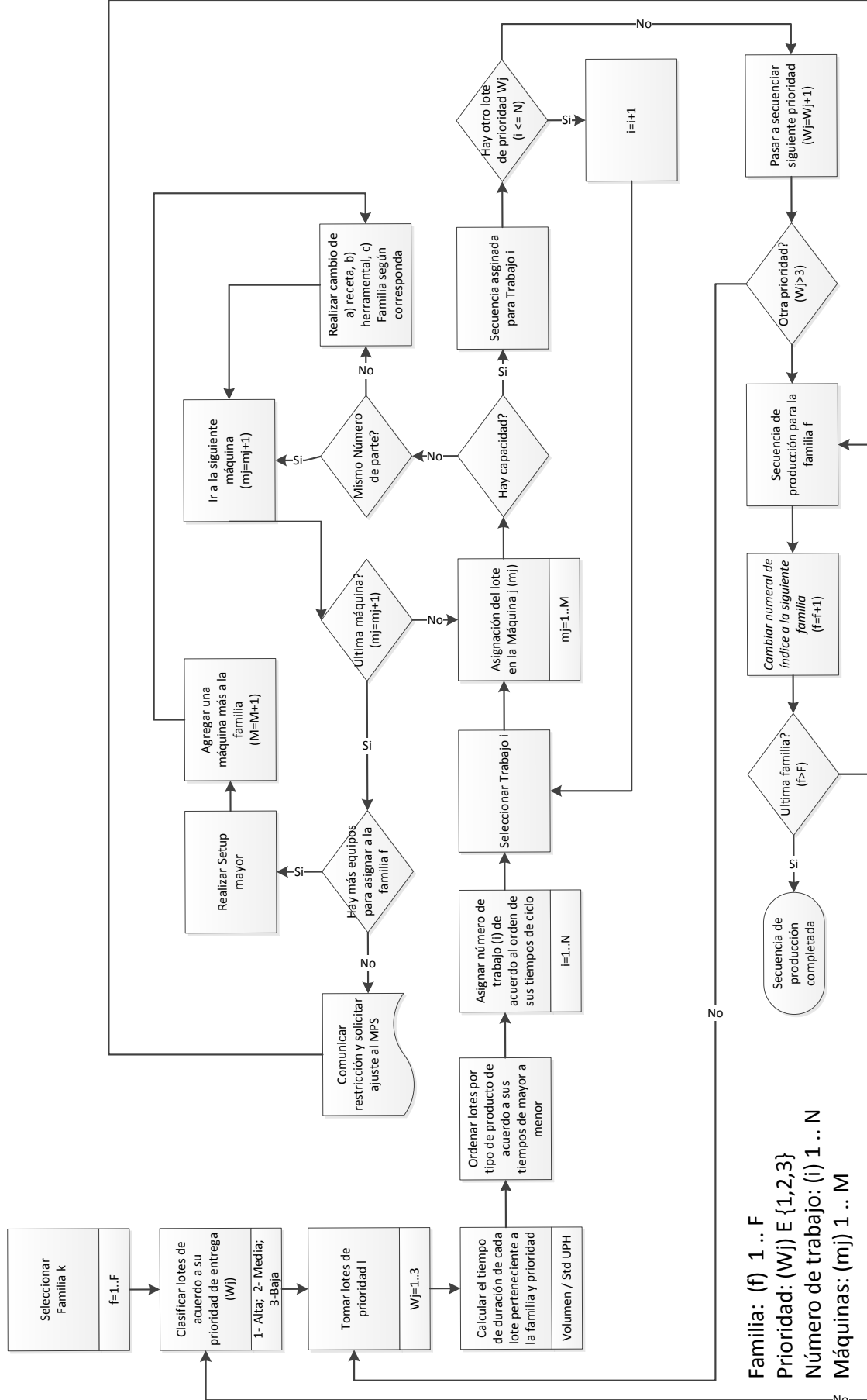


Figura 3.4. Modelo específico de la secuencia detallada de ordenes de productos por familias

3.2. Análisis de flujos de conocimiento

3.2.1 Taxonomías de tipos de conocimiento

Se desea obtener un Modelo flexible para la planeación en manufactura con características de alto volumen en empresas de alta tecnología

Conocimiento tópico

El conocimiento tópico o semántico se refiere a definiciones, glosario, vocabulario que se usa dentro de la organización. Estas incluyen también acrónimos, abreviaturas o siglas. A continuación, se describen los términos involucrados durante el desarrollo de este proyecto:

Análisis de capacidad: Estudio realizado por Ingeniería Industrial a cada una de las áreas del negocio para validar si la capacidad instalada es ajustada para comprometer el volumen requerido o se requiere de algún ajuste

Equipo: Es una máquina que procesa el producto, puede ser una manejadora o una probadora

Estado del equipo: Es el estado que guarda el equipo, producción o detenida, según sea el caso el equipo en producción. Estos estados se mencionan con más detalle en la Tabla 3.3 del sistema de Medición del tiempo del equipo TMS.

Tabla 3.3 Estado que guardan los equipos durante su proceso productivo.

Equipo en producción	Equipo detenido
Disponible	Esperando material
Disponible bajo desempeño	Problema de temperatura / humedad
Muestreo de aseguramiento de calidad (QA)	Cambio de lote
Ingeniería	Ajuste programado de herramienta
Reflujo 3x	Probadora / Manejadora en espera de refacción
Probando STR	Analizando bajo desempeño
	Mantenimiento
	Verificación del conector
	Cambio de conector

Manejadora: Elemento del equipo de prueba eléctrica que maneja el producto para colocarlo en el socket de prueba para que sea probado y lo retira para su disposición clasificándolo en los bins que aplique (Buenas, QA, Marginales y Fallas) de acuerdo al resultado de la prueba eléctrica.

Microcircuito/Chip: Semiconductor empaquetado en Mexicali que puede tener diversas aplicaciones dependiendo del mercado.

MPS: Señal de requerimiento de entrega semanal de productos (Alcance 26 semanas).

Probadora: Elemento del equipo de prueba eléctrica que realiza la prueba funcional al microcircuito.

Programa o Solución de pruebas: Lista de comandos desarrollados para definir las pruebas que se realizan a cada microcircuito.

Socket/Herramienta: Elemento del equipo de prueba eléctrica en el cual se coloca el producto para hacer contacto con el mismo y es donde se realizan las pruebas programadas.

SCM: Administración de la cadena de suministro de materiales

TMS: Sistema para la medición del tiempo

PEO: Procedimiento estándar de operación

MODELO D-I-C: De acuerdo a la Pirámide de conocimiento ([Rowley y Jennifer, 2007](#)) Se define como un conjunto de modelos para representar las relaciones aparentemente estructurales entre Datos, Información, Conocimiento, y en algunos casos la Sabiduría, donde:

Información se define en términos de Datos.

Conocimiento se define en términos de Información.

Sabiduría se define en términos de Conocimiento.

Tabla 3.4 Modelo de datos, información y conocimiento.

	Datos	Información	Conocimiento
Producto	Catálogo de productos Tipo de producto Cliente Tamaño del producto Cantidad de contactores Cant de Datos / alambres	Características geométricas del producto Simetría de contactores del producto	Común denominador geométrico de productos Cabezas de prueba eléctrica compatibles que pueden ser compartidas con 2 o más productos
Probadora	Inventario de probadoras Indicadores de presión, temperatura, voltaje, etc. Señales de resultado de la prueba	Productos que pueden probarse por cada plataforma Tiempo de ciclo de prueba por número de parte Tiempo de ciclo de setup Señales operativas de la probadora Sumarios de prueba eléctrica por lote	Pérdidas estándar (OEE, Yield, Costo) Parámetros de operación estándar Cabeza de prueba recomendada Mejores prácticas en relación al cambio de producto Disposición de producto
Manejadora	Inventario de manejadoras Indicadores de presión, temperatura, velocidad, frecuencia, etc	Tipo de alimentación Velocidad del indexado Señales operativas de la manejadora	Restricciones geométricas para alimentación bowl feeder Resolución de anomalías de acuerdo con el PEO
Herramientas de prueba	Asignación de cabeza de prueba correctamente Mayor throughput operativo Mantenimiento preventivo y predictivo Mejores prácticas	Inventario de Cabezas de prueba	Productos que utilizan cada tipo de cabeza de prueba Tipo de cabeza (Single, Dual, Quadra, Octa) Estado de las cabezas
Herramientas de manejo	Mejores practicas Lecciones aprendidas	Inventario de Fixture de manejadora	Productos que utilizan cada tiempo de cabeza de prueba Tipo de alimentación
Programas de prueba	Elementos de programación común Elementos especiales por número de parte Activación o desactivación de módulos de programa Mejores prácticas de Ingeniería de producto	Programas de prueba eléctrica	Clasificación de programas de prueba Análisis de resultados de la prueba y disposición del producto Segmentación aleatoria de pruebas aleatorias QA
Análisis de capacidad de TEST	Capacidad teórica del área Requerimientos de nivelación de cargas del período Retroalimentación oportuna a Supply chain No considera existencias reales de material	MPS Estado de equipos Plataformas Ruteos Cabezas de Test	Nivel de saturación de cada plataforma Requerimiento de recursos (Probadoras, Manejadoras, Fixtures) Flexibilidad del área
Planificación de la producción	Planificación de tiempos de cambio a realizar por día, Mejores prácticas de planeación de piso Inventario real del producto Estado de lotes problemáticos Programa de mantenimiento	MPS Estado de equipos Plataformas Restricciones en los Ruteos Estado real de las cabezas de Test Fixtures de manejadoras Distribución actual	Secuencia de producción por máquina Cantidad de setups requeridas Reacción a urgencias Mantenimiento a los equipos y herramientas

3.2.2. Evolución de sistemas de planeación

El apoyo de la Figura 3.5, tiene el propósito de mostrar la evolución desde 1980 de los diferentes sistemas relacionados con el proceso de planeación de los recursos en la organización de acuerdo a lo siguiente:

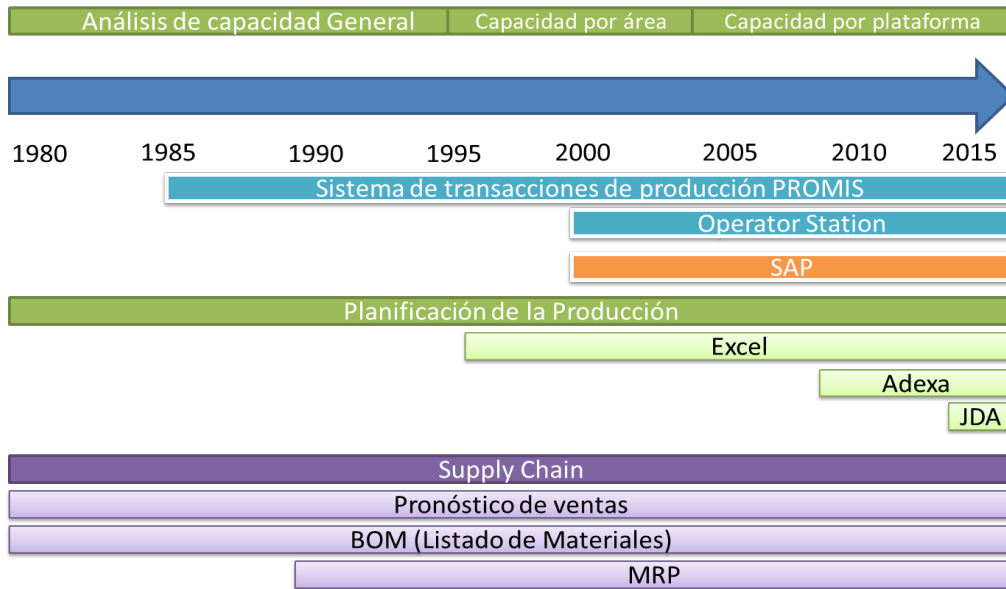


Figura 3.5 Evolución de sistemas de planeación.

Se aprecia que la figura está compuesta por tres diferentes niveles a) Manejo y control de avance de órdenes en piso de producción, b) Planeación de la producción y c) Administración de recursos.

Manejo y control de avance de órdenes en piso de producción

Este sistema sirve para tener una visibilidad del avance de las diferentes órdenes en piso de producción a lo largo de los diferentes procesos productivos, su implementación inicia en 1985 por medio del sistema Promis Nativo, éste sistema presenta interfase de texto por medio de comandos acortados para generar reportes o realizar búsquedas de lotes. A partir del 2000, se integra la interfase gráfica Operator Station al sistema Promis, lo que permite incluir algunas funcionalidades de Windows en las consultas y en los reportes. Sin embargo el sistema sigue manteniendo su fuente base en un sistema poco amigable. Al mismo tiempo del anterior se migra el sistema para control de materiales por medio de SAP.

Planeación de la producción

Este proceso se formalizó por medio de macros en 1995, sin embargo la diversidad de consideraciones, la dinámica del mercado, el tiempo de vida de los productos hacen complicado que operación automatice y se mantenga al día, se opta por definir plantillas de apoyo a la planeación de la producción en Excel para que cada uno de los planeadores desarrollara el cálculo para cada área que permitiera realizar el proceso de planeación por área de una forma ágil. Lo anterior ha ocasionado que el sistema de planeación se comporte como un sistema local del área, con poco o ningún enfoque en relación al sistema global del negocio. Es decir, la MiniCo Front End puede estar fabricando productos que no son demandados por MiniCo Test y esto por efecto en cadena llega a provocar que el producto comprometido sea entregado tarde.

Con un esfuerzo para sistematizar la planeación se creó un modelo en 2007 en el sistema Adexa. Este integra componentes desde las fábricas de Wafers, hasta la entrega final de microcircuitos empaquetados. Adexa funciona muy bien para planeación de los negocios de poco volumen como lo son las fábricas de obleas de microcircuitos (Wafers), pero al momento de procesar soluciones viables de planeación para Mexicali, resulta que no son factibles, lo que ocasiona que la herramienta sea dejada a un lado para Mexicali y en su lugar se implementó en 2014 la herramienta JDA que tiene el propósito de simplificar el proceso de planeación, actualmente del negocio. Sin embargo, todavía las propuestas optimizadas por el modelo tienen demasiada variación semana a semana, lo cual ocasiona que si se llevara a la práctica ocasionaría demasiados cambios en los que equipos que llevaría a pérdidas cuantiosas en cuanto a la capacidad productiva (Ej. P1 – 15Setup; P2 – 75Setup; P3 5 Setup). Con el detalle enfocado en familias de productos se planea validar que el modelo de planeación con enfoque a familias permite que la ingeniería de cambio de herramental sea manejable, debido a que el tiempo de cambio de herramienta tienda a reducirse en productos que pertenezcan a la misma familia.

Administración de Recursos

- *Administración de la cadena de suministro (SCM).*- El negocio cuenta con un modelo de cadena de suministro desde 1985, éste identifica los diferentes proveedores de primera generación, los tiempos de entrega de las partes necesarias así como el volumen mínimo operado por cada proveedor.

- *Pronóstico de Venta* - El negocio ha llevado pronóstico de ventas tomando como base un modelo híbrido de ventas para entregas al cliente y para inventariar. El primero opera en base a las órdenes en seguras por parte de nuestro cliente y el segundo tomando como base los datos históricos se extrapola el comportamiento de la demanda por medio de la técnica de promedios móviles aplicando el efecto de la estacionalidad.
- *Listado de Materiales (BOM)* - Cada número de parte cuenta con una especificación de contenidos. Esto sirve para calcular el requerimiento de materiales a solicitar por parte del proveedor. En su mayoría los materiales son planeados en forma automática, pero esto no siempre fue así, anteriormente se tenía que hacer el requerimiento por medio de análisis manual del nivel periódico de consumos y plasmar el requerimiento para detonar órdenes de compra o bien por medio del sistema de intercambio electrónico de datos (EDI)
- *Planeación de requerimiento de materiales (MRP)* - Empieza a trabajar en forma a partir de 1990, el Sistema en su etapa temprana se utilizaba para planear los materiales gruesos (Oblea, Dado, PCB), éste ha ido evolucionando al nivel que ya se manejan materiales como Pegamento epóxico, Alambre, Compósitos para moldeo, etc.

3.3 Conclusiones del capítulo

De acuerdo a lo revisado en el desarrollo de éste capítulo, se ha plasmado el flujo de trabajo para el procesamiento de datos y las diferentes interacciones entre todos los departamentos involucrados para generar el plan de producción, el compromiso de entrega semanal, así como el plan de respuesta a imprevistos.

Hemos podido darnos cuenta del alcance que tienen las operaciones, así como la información se va convirtiendo en conocimiento que retroalimenta a los otros procesos. La mayoría de los resultados se dan por medio de la exteriorización de los resultados, con eso se asegura que quede documentado el proceso, sin embargo hay algunos procesos que son interiorizados. Es decir, por la falta de definición de métodos formales, los departamentos requieren personal de alta especialización para procesarlos, de igual forma, los flujos se

combinan resultando en productos necesarios para preparar la secuencia de lotes en un plan y un plan de ejecución de las órdenes en piso de producción.

4. DESARROLLO DE FAMILIA DE PRODUCTOS BASADO EN TECNOLOGÍA DE GRUPOS

4.1. Clasificaciones de atributos para el plan de producción

Se realizó un análisis del portafolio de productos que se hacen por parte de la empresa encontrando lo siguiente que está enunciado en la Tabla 4.1.

Tabla 4.1 Características del portafolio de productos.

Características	Productos	Geometrías	Alturas
Totales	1089	104	16
Activos	556	70	11
Inactivos	533	34	5

Se aprecia que aproximadamente el 67% de las geometrías se mantienen activas, esto significa que forman parte de categorización de productos de acuerdo a la demanda, que se verá más adelante en éste documento.

Los sistemas actuales de planeación del negocio realizan su proceso a nivel producto, con esto no existe visibilidad de los productos que son similares o se parecen entre sí. Es por eso que para un planeador, una transición de un producto a otro, es igual se hace en el nivel de planeación. Sin embargo, cuando esto se pasa a nivel operativo, existen restricciones de recursos para los cambios de herramienta, además de que no es lo mismo un cambio pequeño (receta o herramienta), y un cambio de dimensión de producto, con lo que se pierde una mayor capacidad productiva. Dado lo mencionado anteriormente se desarrolló una tabla comparativa de las prácticas actuales contra la propuesta, esto se menciona en la Tabla 4.2.

Como se aprecia en la tabla, existen razones de peso bien fundamentadas para optar por gestionar la planeación con un enfoque hacia familia de productos más que solo a nivel número de parte. Con ésta además de ganar en capacidad, se obtienen ganancias en flexibilidad de los procesos, puesto que se sabe que los planes nunca se llevan a cabo como están planteados.

El hecho de contar con información de compatibilidad de productos que pertenecen a la misma familia es más que suficiente para blindar la ejecución del plan al reemplazar la secuencia de los productos de la familia, que esperan su procesamiento y puedan ser usados.

Tabla 4.2 Contraste de método actual y método propuesto.

Nivel de planeación actual	Nivel de planeación propuesto
Plan general de volúmenes de producto comprometidos	Plan detallado de productos y volúmenes por familia alineando requerimiento de capacidad por adelantado (Geometría de producto y simetría de contactores)
Empatar cuando se pueda la geometría del producto siguiente	Minimizar tiempos de cambio de familia y limitarse a cambios menores de productos de la familia.
Detonar requerimiento de herramental de prueba eléctrica cuando se requiera	Anticipar al requerimiento de herramental, rompiendo por adelantado las restricciones que surjan (Inventario de Herramental para manejadora y probadora)
Limitar al cantidad de cambios en el proceso a la restricción establecida por el área de mantenimiento	Los cambios en su gran mayoría son menores, por lo que el área de mantenimiento puede enfocarse en la prevención de fallas.
Soluciones de prueba desarrolladas y mejoradas durante el proceso	Soluciones de prueba desarrolladas y mejoradas durante el proceso

En la Tabla 4.3, se anota la cantidad de herramientas que existen, tanto para la manejadora como para la probadora, además de las soluciones de prueba eléctricas desarrolladas. Dado que tanto los herramientas como las pruebas se comparten entre varios productos de la familia, estos pueden promediar uno o más del mismo tipo según sea el caso (Herramental, Solución), esto siempre deberá estar alineado a las necesidades de volumen en cada familia a procesar.

Tabla 4.3 Inventario de herramientas de manejadoras y probadoras.

Inventario	Herramental para manejadora	Herramental para probadoras	Soluciones de prueba eléctrica
Total	750	1542	1310
Únicos	104	246	948

4.3. Definición de familia de productos

Una familia representa todos aquellos productos que comparten una geometría que permita agruparlos de tal forma que se secuencian a manera de cluster, mejorando de ésta forma los tiempos de respuesta (Albarracín, 2004)

Por geometría se entiende el tamaño que tiene un microcircuito o paquete que en lo posterior llamaremos (*Package Size*) y la altura que tiene el mismo (*Mold Cap*) de acuerdo a lo expuesto en la Figura 4.1.

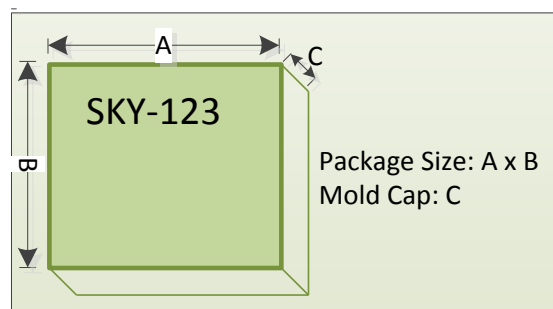


Figura 4.1. Apoyo de geometrías del producto

Para generar la agrupación hacia familias (Figura 4.2) se toma el catálogo de producto para extraer todas las geometrías que se tienen declaradas en el proceso del negocio, una vez realizado lo anterior se confronta los tipos de geometría con la señal de volúmenes requeridos para el período por parte del MPS, en función a los volúmenes requeridos por cada geometría se clasifica los productos de acuerdo a la adecuación de categorías ABC para inventarios (APICS, 2010), que se hizo para cubrir necesidades de clasificación de volúmenes de demanda.

En base con lo anterior se define la cantidad teórica de equipos requeridos para cubrir las necesidades del período.

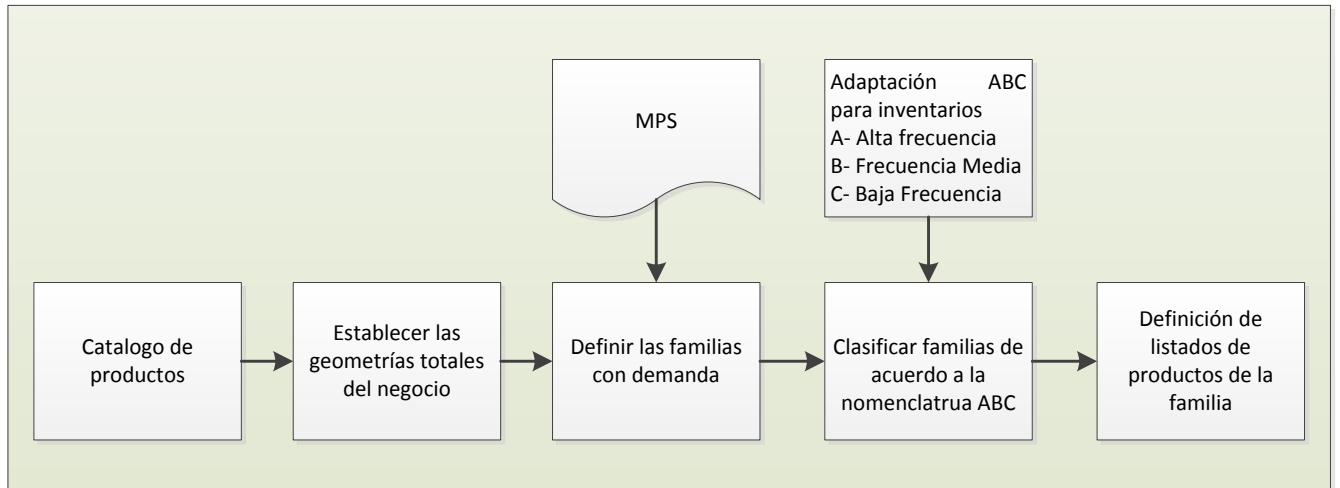


Figura 4.2 Algoritmo para generar y mantener familias de producto por geometrías.

4.4. Familias de productos

Tomando como base lo anterior se establecieron 3 tipos de producto tomando como base de la clasificación ABC de categorización de inventarios establecida por APICS. 2010

Tabla 4.4 Relación de volumen de producto – tipo – geometría.

Tipo de Familia	A	B	C
Características	<i>Alto Volumen, Alta Frecuencia</i>	<i>Volumen Medio, Frecuencia Mediana</i>	<i>Bajo Volumen, Baja Frecuencia</i>
Volumen	65.90%	24.75%	9.35%
Números de Parte	35	114	407
Geometrías	8	12	50

Una vez visto lo anterior se constata que el 60% de la demanda se concentra en 35 números de parte de nuestro catálogo. Tomando esto como referencia se procedió una serie de juntas con el equipo de planeación para determinar los niveles de planeación para ir refinando el modelo y establecer las familias de producto.

4.5. Clasificación de familias de acuerdo al esquema ABC

Como se mencionó anteriormente, se identificaron 58 tamaños de paquete y 11 alturas, mismo que fueron clasificadas de acuerdo al esquema ABC para las geometrías diferentes. Esto sirve para soportar el planteamiento de familias de productos, que permitirá tener una mejor organización y visibilidad del proceso de planeación en piso de producción (Tablas 4.5 a 4.7)

Tabla 4.5 Agrupación de familias de producto tipo A (alto volumen, alta frecuencia).

Clasificación	Tamaño de Paquete	Alturas	Variaciones en Altura
A	03X03	0.55 mm; 0.7 mm;	2
A	04X03	0.53 mm; 0.55 mm; 0.70 mm;	3
A	04X6.8	0.50 mm;	1
A	06X06	0.55 mm; 0.7 mm; 0.70 mm; 1 mm;	4
A	07x05	0.44 mm; 0.55 mm;	2
A	2.5X2	0.55 mm;	1
A	5.5X5.3	0.44 mm;	1
A	8.15X5.6	0.55 mm;	1

Tabla 4.6 Agrupación de familias de producto tipo B (volumen medio, frecuencia media).

Clasificación	Tamaño de Paquete	Alturas	Variaciones en Altura
B	03X04	0.55 mm;	1
B	04X3.65	0.44 mm;	1
B	05X05	0.44 mm; 0.55 mm; 0.7 mm; 1 mm;	4
B	2.5X2.9	0.65 mm;	1
B	2.5X3.3	0.65 mm;	1
B	2.6X3.2	0.50 mm;	1
B	3.2X2.5	0.55 mm; 0.7 mm;	2
B	3X3.5	0.45 mm;	1
B	3X4.2	0.55 mm;	1
B	4.5X05	0.55 mm;	1
B	6.3X5.2	0.53 mm;	1
B	7.5X06	0.55 mm;	1

Tabla 4.7 Agrupación de familias de producto tipo C (bajo volumen, baja frecuencia).

Clasificación	Tamaño de Paquete	Alturas	Variaciones en Altura
C	03X05	0.53 mm; 0.55 mm;	2
C	04X04	0.55 mm; 0.7 mm; 1 mm;	3
C	04X06	0.55 mm;	1
C	05X04	0.55 mm;	1
C	05X06	0.55 mm;	1
C	06X06	0.55 mm; 0.7 mm; 1 mm;	3
C	06X08	0.55 mm; 0.7 mm;	2
C	07X04	0.7 mm;	1
C	07X06	0.55 mm;	1
C	07X07	1 mm;	1
C	07X09	0.70 mm;	1
C	07X7.5	0.55 mm;	1
C	07X7.8	0.55 mm;	1
C	07X9.8	0.55 mm;	1
C	08.38x08.3	1 mm;	1
C	08X06	0.55 mm;	1
C	08X08	0.7 mm; 1 mm;	2
C	09X08	0.55 mm;	1
C	09X12	1.3 mm;	1
C	1.1X1.5	0.43 mm;	1
C	1.7X2.3	0.50 mm; 0.55 mm;	2
C	10X08	1 mm;	1
C	10X10	1 mm;	1
C	10X12	0.55 mm;	1
C	10X14	1 mm;	1
C	2.5x2.5	0.50 mm; 0.55 mm; 0.65 mm;	3
C	2.7X4	0.55 mm;	1
C	2.8X2.8	0.55 mm;	1
C	2.8X3.2	0.55 mm;	1
C	2.8X3.6	0.55 mm;	1
C	3.3X03	0.55 mm;	1
C	4.1X3.2	0.55 mm;	1
C	4.4X4.2	0.53 mm;	1
C	4.5X06	0.55 mm;	1
C	5.3X4.3	0.44 mm;	1
C	5X3.5	0.55 mm;	1
C	6.3X4.1	0.53 mm;	1

4.6. Comprobación del beneficio del manejo de prioridades con el esquema ABC

Se quiere comprobar que existe un beneficio al utilizar el esquema de prioridades, para lo cual se plantea lo siguiente: Familias con prioridad A (Construir para la demanda), siempre serán secuenciadas primero, de ahí siguen las familias con prioridad B (Construir para el inventario) y al último quedan las de prioridad C (Construir para el pronóstico) de acuerdo a lo enunciado en la Figura 4.3.

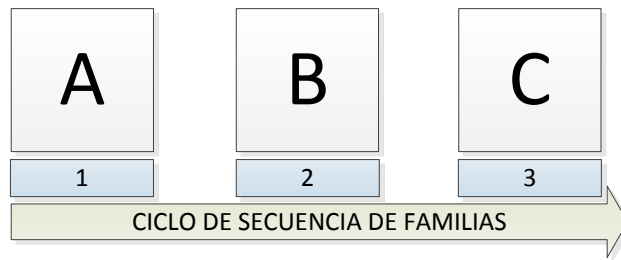


Figura 4.3 Prioridad para secuencia de familias.

Las familias que se secuencian primero son las de mayor prioridad. Tomando ese criterio se ordena de las familias más prioritarias a de menos. Para ello nos valemos del caso mostrado en la Figura 4.4, mismo que utilizaremos para comprobar los resultados del modelo.

	SECUENCIAR EN PRIORIDAD ALTA	SECUENCIAR EN PRIORIDAD MEDIA	SECUENCIAR EN PRIORIDAD BAJA
	Categoría A (Construir para la demanda)	Categoría B (Construir para inventariar)	Categoría C (Construir para pronóstico)
FAMILIA 1	P1, P3, P4	P9	P14, P20
FAMILIA 2	P2, P6		P5, P11
FAMILIA 3	P7, P8	P10, P13	P16, P18
FAMILIA 4	P12	P15, P17	P19

Figura 4.4 Caso de secuencia por prioridad para demanda del período

Una vez que se tiene esto se requiere descomponer a nivel producto (ej. Familia 1= P1, P3 y P4; Familia2= P2 y P6 Familia3= P7 y P8 y Familia4= P12) para tener el requerimiento de producción de cada uno. Lo anterior se obtiene de la señal del plan maestro de producción (MPS), se tendría un requerimiento de acuerdo a lo expuesto en la Tabla 4.8.

Tabla 4.8 Volumen de demanda requerida por cada familia.

Familia 1	Familia 2	Familia 3	Familia 4
P1: 1000K P3: 1100K P4: 2000K	P2: 800K P6: 100K	P7: 2500K P8: 500K	P12: 1500

Cada producto tiene un estándar basado en la cantidad de piezas que se procesan por hora en el equipo de acuerdo a lo siguiente:

P1, P6, P8 y P12 : 3000 piezas por hora,

P2: 1000 pzas por hora,

P3: 500 pzas por hora,

P4, P7: 4000 pzas por hora.

Se tiene que pasar a tiempo requerido de equipo de procesamiento para procesar el volumen requerido por la demanda de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$\text{Tiempo de procesamiento} = \text{Volumen} / \text{Estándar UPH.}$$

Por ejemplo, Tiempo P1= 1000000/3000= 333.33hrs.

Esto se refleja en la siguiente tabla, las cantidades están denotadas en horas de máquina requeridas para procesar el pedido.

Tabla 4.9 Horas totales requeridas para procesar la demanda.

Familias	Familia 1	Familia 2	Familia 3	Familia 4
	P1: 333.33 (11%) P3: 2200 (72.5%) P4: 500 (16.5%)	P2: 800 (99.5%) P6: 3.33 (0.5%)	P7: 625 (78.8%) P8: 166.66 (21.2%)	P12: 500 (100%)
Tiempo Total (hrs)	3033.33	803.33	792.66	500

Cada equipo instalado en la planta opera 24/7, con una holgura del 10% del tiempo disponible. Esto nos da un total de 168hrs totales, 151.2hrs disponibles. Con lo anterior se puede pasar el requerimiento en horas a requerimiento de máquinas (ej. Familia 1 $3033.33/151.2=20.061$ máquinas), esto se refleja en la siguiente tabla 4.10.

Tabla 4.10 Requerimiento de máquina.

Familias	Familia 1	Familia 2	Familia 3	Familia 4
Requerimiento de máquinas por producto	P1: 2.2 P3: 14.54 P4: 3.321	P2: 5.25 P6: 0.315	P7: 4.13 P8: 1.1124	3.3068
Máquinas requeridas	20.061	5.2815	5.2424	3.3068

Lo anterior es operable en condiciones en las que los cambios son despreciables. Sin embargo, esto no aplica en nuestro caso, ya que tenemos 3 tipos de cambio posibles en la misma familia: Lote, Receta y Herramienta y cuando se cambia de familia sería necesario realizar el cambio de familia.

Asumamos que el tiempo para fines de la prueba se comporta de acuerdo a lo siguiente:

Cambio de Lote=0.16hr,

Cambio de Receta=0.5hr,

Cambio de Herramienta=1.5hrs y

Cambio de Familia= 3.5hrs.

Nos faltaría entonces obtener la cantidad de piezas hay en cada lote, en éste caso es de 10K en cada lote, lo que regresa la siguiente cantidad de piezas.

Tabla 4.11 Cálculo de cantidad de lotes y tiempo de máquina requerido por concepto de cambio de lote.

	Familia 1	Familia 2	Familia 3	Familia 4
Lotes	P1: 100 P3: 110 P4: 200	P2: 80 P6: 10	P7: 250 P8: 50	P12: 150
Total lotes	310	90	300	150
Cambio de lote	0.16	0.16	0.16	0.16
Tiempo por cambio de lote (hrs)	49.6	14.4	48	24
Requerimiento máquina	0.3280	0.0952	0.3174	0.1587

Dada la naturaleza del proceso se anota que en la Familia 1, hay 3 productos, P1, P3 y P4, con un requerimiento de máquinas asignadas en la semana de 2.2, 14.54 y 3.321 respectivamente. Si nos olvidamos por el momento de las máquinas asignadas completas, tendríamos requerimientos en máquinas parciales de 0.2 para el P1, de 0.54 para el P3 y de 0.3321 para el P4. La suma total de éstos requerimientos es 1.0721 máquinas que estarían siendo compartidas por los 3 productos. En cuanto al cambio de receta, por lo anterior se requiere al menos 4 cambios de receta para cubrir el requerimiento de las máquinas parciales, dado que el total da más de un equipo, los tiempos y cantidad de cambios presentados en el desarrollo anterior, se presentan en la Tabla 4.12.

Tabla 4.12 Cálculo de cantidad de cambio de recetas requeridas por familia de productos.

	Familia 1	Familia 2	Familia 3	Familia 4
Maquinas parciales	P1: 0.2 P3: 0.54 P4: 0.3321	P2: 0.25 P6: 0.315	P7: 0.13 P8: 0.1124	P12: 0.3068
Total máquinas parciales	1.0721	0.565	0.2424	0.3068
Cambio de receta	0.5	0.5	0.5	0.5
Cambios de receta en máquinas dedicadas	20	5	5	3
Cambios de receta máquinas parciales	4	2	2	1
Cambios de receta totales	24	7	7	4
Tiempo por Cambio de receta (hrs)	12	3.5	3,5	2
Requerimiento adicional de máquina x cambio de receta	0.0793	0.0231	0.0231	0.0132
Requerimiento de acumulado de máquinas (Lote + Receta)	0.3280+0.0793 = 0.4073	0.0952+0.0231 =0.1183	0.3174+0.0231 =0.345	0.1587+0.0132 =0.179

Con lo anterior, ya se tiene información acerca de los tiempos de procesamiento de las familias, que corresponden a los cambios correspondientes a lotes y receta.

Todavía está pendiente calcular el tiempo relacionado al cambio de herramienta. Para esto es necesario ver la compatibilidad que existe entre los productos de la familia, es decir utilizan el

mismo tipo de herramienta, o se tendrá que hacer algún cambio, lo principal es determinar el requerimiento de máquinas parciales. Empezamos entonces con la matriz de compatibilidad de herramienta que se muestra en la Tabla 4.13.

Tabla 4.13 Compatibilidad de herramienta por número de parte.

Familia	Producto	Herramienta
1	P1	AB
	P3	AB
	P4	CD
2	P2	EF
	P6	GH
3	P2	IJ
	P6	IJ
4	P12	KL

Se aprecia que en la Familia 1, se utilizan 2 herramientas para procesar el volumen requerido, y cada una de las máquinas que se requieren puede ser que requieran o no un cambio al inicio del período. Esto depende si están procesando o no el mismo tipo de producto. Para fines de la comprobación se pone como que se requiere.

Entonces, procedemos con el cálculo por familia del tiempo requerido para el cambio de herramienta de acuerdo a lo siguiente: de lo expuesto en la Tabla 4.10 obtenemos el equipo requerido para cada número de parte de la familia, ej. Familia 1 P1: 2.2 máquinas; P3: 14.54 máquinas y P4: 3.321 máquinas. Las máquinas dedicadas a procesar cada número de parte serán P1: 2; P3: 14 y P4: 3. Estas 19 máquinas requieren un cambio de herramienta al inicio del período, 1.5hrs por cambio lo cual resulta en 28.5hrs para los equipos dedicados. En cuanto a los máquinas parciales, se tiene lo siguiente P1: 0.2; P3: 0.54 y P4: 0.321 Esto totaliza 1.0721 máquinas que serán compartidas y por lo tanto tendrán que requerir cambio de herramienta, dado que P1 y P3 comparten herramienta ello nos da que 0.74 equipo con un solo cambio de herramienta se utiliza. El restante 0.321 requiere 2 cambios, porque excede la capacidad de un solo equipo. Por tanto la cantidad de cambios de herramienta requeridos para la Familia 1 serán

19 para equipos dedicados y 3 para equipos parciales. El desarrollo para todas las familias se presenta en la Tabla 4.14.

Tabla 4.14 Cálculo de cantidad de cambios de herramientas requeridas por familia de productos.

Familia	Familia 1	Familia 2	Familia 3	Familia 4
Maquinas parciales	P1: 0.2 P3: 0.54 P4: 0.3321	P2: 0.25 P6: 0.315	P7: 0.13 P8: 0.1124	P12: 0.3068
Total máquinas parciales	1.0721	0.565	0.2424	0.3068
Cambio de herramienta	1.5	1.5	1.5	1.5
Cambios de herramienta en máquinas dedicadas	19	5	5	3
Cambios de herramienta máquinas parciales	3	1	0	1
Cambios de herramienta totales	21	6	5	4
Tiempo por cambio de herramienta (hrs)	31.5	9	7.5	6
Requerimiento adicional de máquina x cambio de herramienta	0.2083	0.0595	0.0496	0.0397
Requerimiento de acumulado de máquinas (lote + receta +herramienta)	0.6156	0.1778	0.3946	0.2187

Hasta el momento hemos estado trabajando a nivel familia totalizando la cantidad de tiempo requerido por sus cambios, así como el requerimiento adicional de máquinas. El cálculo se realiza de forma análoga cuando se toman los productos de Categoría B y C en el segundo y tercer ciclo respectivamente.

Durante éste proceso se llega a presentar alguna restricción de capacidad, equipos insuficientes o bien de herramienta. Es por eso que se empieza siempre con el producto más prioritario primero, porque para aquellos de media o baja prioridad, el dejarlo de producir en éste período y mandarlo al siguiente contribuirá a que el negocio enfoque sus recursos en los productos más prioritarios. Al fin y al cabo lo que no tiene demanda en éste período, seguramente tendrá demanda en el próximo, y esto hará que de forma natural los productos y familias se agrupen de una forma adecuada.

En resumen se presenta en la Tabla 4.15 el requerimiento de equipo acumulado de la Categoría A por familia de producto.

Tabla 4.15 Requerimiento acumulado de máquinas por familia.

Familia	Familia 1	Familia 2	Familia 3	Familia 4
Máquinas requeridas Procesamiento	20.061	5.2815	5.2424	3.3068
Máquinas requeridas cambio de lote	0.328	0.0952	0.3174	0.1587
Máquinas requeridas cambio de receta	0.0793	0.0231	0.0231	0.0132
Máquinas requeridas cambio de herramienta	0.2083	0.0595	0.0496	0.0397
Requerimiento total máquina	20.68	5.46	5.63	3.52

El requerimiento de máquinas por familia se calculó para la semana que se está planeando. Faltaría agregarle el requerimiento respectivo para el ciclo de la Categoría B (construir para el inventario) más el requerimiento respectivo para ciclo de la Categoría C (construir para el pronóstico).

Se realiza el mismo proceso pero con el método tradicional, en el que los cambios se dan de forma desordenada, ya que no se cuenta con un enfoque hacia familias. Entonces, de acuerdo a los volúmenes requeridos mostrados en la Tabla 4.8, se toma su consolidado, el cual se muestra en la Tabla 4.16.

Tabla 4.16 Cálculo de horas requeridas por operación en esquema de planeación tradicional.

Producto	Volumen	Estándar pzas/hr	Horas máquina/semana	Equipos Requeridos	Lotes requeridos
P1	1000K	3000	333.33	2.206	100
P2	800K	1000	800	5.295	80
P3	1100K	500	2200	14.56	110
P4	2000K	4000	500	3.309	200
P6	100K	3000	33.33	0.221	10
P7	2500K	4000	625	4.136	250
P8	500K	3000	166.67	1.103	50
P12	1500K	3000	500	3.309	150
Total	9500		5158.33	34.139	950

Para los lotes requeridos, no existe ningún cambio significativo, entre el método tradicional y el por familias. La principal diferencia es que en el enfoque tradicional, como no se tiene visibilidad de lo que viene, es muy fácil el hacer un cambio de receta, de herramienta, incluso de familia, únicamente con el propósito de mantener el equipo funcionando, procesando

productos. Lo anterior se ve reflejado a nivel número de parte en el que la cantidad de cambios de receta se presenta al menos del 30% de los lotes procesados; el cambio de herramienta se presenta en al menos el 15%; y el cambio de familia se presenta en al menos el 10%. Lo anterior se muestra numéricamente en la Tabla 4.17.

Tabla 4.17 Tiempos de cambio en el esquema tradicional.

Producto	Cambio de lote		Cambio de receta		Cambio de herramienta		Cambio de Familia		Total	
	Hrs	Maquinas	Hrs	Maquinas	Hrs	Maquinas	Hrs	Maquinas	Hrs	Maquinas
P1	16.6	0.11	15	0.099	22.5	0.149	35	0.231	89.1	0.589
P2	13.28	0.088	12	0.079	18	0.119	28	0.185	71.28	0.471
P3	18.26	0.121	16.5	0.109	24.75	0.164	38.5	0.255	98.01	0.649
P4	33.2	0.22	30	0.198	45	0.298	70	0.463	178.2	1.179
P6	1.66	0.011	1.5	0.01	2.25	0.015	3.5	0.023	8.91	0.059
P7	41.5	0.274	37.5	0.248	56.25	0.372	87.5	0.579	222.75	1.473
P8	8.3	0.055	7.5	0.05	11.25	0.074	17.5	0.116	44.55	0.295
P12	24.9	0.165	22.5	0.149	33.75	0.223	52.5	0.347	133.65	0.884
Total	157.7	1.044	142.5	0.942	213.75	1.414	332.5	2.199	846.45	5.599

Como se aprecia, en la tabla, se totalizan horas y las máquinas adicionales requeridas en el esquema tradicional es de 4.6 máquinas. Si esto lo comparamos con el esquema de producción por familias y prioridades, es de 1.4 máquinas adicionales. Esto significa que al menos desde el punto de vista de cambios y tiempo muerto, el comportamiento es 4 veces mejor, esto representa un 10.57% de capacidad adicional en el caso que se está revisando.

El esquema de familias funciona tomando como base las prioridades que tiene el producto, y para ellos se apega al siguiente esquema de manejo de prioridades:

1. Llenar capacidad de los equipos asignados a la familia primero con prioridad tipo A (Prueba eléctrica para órdenes confirmadas por el cliente).

2. Una vez que se complete la asignación de los productos con prioridad A, pasar a asignar las familias con prioridad tipo B (Prueba eléctrica para almacenar producto para amortiguar los picos en demanda).

3. Una vez que se complete la asignación de los productos con prioridad B, pasar a asignar las familias con prioridad tipo C (Prueba eléctrica para almacenar producto para pronóstico de demanda futura).

4.6 Estudio de tiempos de cambio

4.7.1 Cambio de lote

Se realizaron 443 tomas de tiempo total, 360 en la plataforma de manejo M1 y 83 en la plataforma M2, dieron un promedio de 10 y 8 minutos respectivamente. A continuación se muestra el desglose de estos tiempos que se tomaron.

De acuerdo a los tiempos mostrados en la Tabla 4.18, se requieren 3 actividades para realizar el cambio de lote en M1 y 4 actividades para el cambio de lote en M2, la idea es que en el modelo, estos tiempos estandarizados sean tomados en cuenta para tener planes de producción que se llevan a la práctica y sean alcanzables.

Tabla 4.18 Tiempos de cambio de lote.

A) M1	Sequence	Lot Change	Time (sec)	Frequency	Total	
	1	Soft cleaning	232.5	1	233	
	2	Load material	86.8	2	174	
	3	Get red trays	97.0	2	194	
B) M2	Sequence	Operation (NS)	Code	Time (sec)	Frequency	Total
	1	Soft cleaning	1	105.0	2	210
	2	Load summaries and documentation	3	73.0	1	73
	3	Load material into Bowlfeeder	1	58.0	2	116
	4	Prepare empty reels	1	81.0	1	81

4.7.2 Cambio de receta

Se realizaron 168 tomas de tiempo para la actividad de cambio de receta, 116 en la plataforma de manejo M1 y 52 en la plataforma M2, dieron un promedio de 30 y 45 minutos respectivamente. A continuación se muestra el desglose de éstos tiempos que se tomaron (Tabla 4.19).

Tabla 4.19 Tiempos de cambio de receta.

A) M1	Sequence	Recipe Change	Time (sec)	Frequency	Total
	1	Change recipe	91.0	2	182
2	Load information in system	141.5	2	283	
3	Rename and finish write data	234.0	2	468	
4	Load lot	119.0	2	238	
5	Fill set up paper	237.5	2	475	
6	Update data	77.0	2	154	

B) M2	Sequence	Recipe Change	Code	Time (sec)	Frequency	Total
	1	Change recipe	1	81.0	2	162
2	Correlate variables	5	654.0	2	1308	
3	Rename and finish write data	5	280.0	2	560	
4	Load lot	1	109.0	2	218	
5	Fill set up paper	5	48.0	2	96	
6	Update data	1	178.0	2	356	

4.7.3 Cambio de herramientas

Se realizaron 120 tomas de tiempo para la actividad de cambio de herramental, 84 en la plataforma de manejo M1 y 36 en la plataforma de manejo M2, dieron un promedio de 90 y 98 minutos respectivamente. A continuación se muestra el desglose de éstos tiempos que se tomaron (Tabla 4.20).

Tabla 4.20 Tiempos de cambio de herramientas.

A) M1	Sequence	Fixture Setup	Time (sec)	Frequency	Total
	1	Change fixture	508.0	2	1016
2	Get golden patterns	129.0	2	258	
3	Install golden patterns	93.0	2	186	
4	Correlating	1908.5	2	3817	
5	Remove golden pattern	61.5	2	123	

B) M2	Sequence	Fixture Setup	Code	Time (sec)	Frequency	Total
	1	Change fixture	1	553.2	2	1106
	2	Get golden patterns	3	140.5	2	281
	3	Install golden patterns	1	101.3	2	203
	4	Correlating	1	2078.2	2	4156
	5	Remove golden pattern	1	67.0	2	134

4.7.4 Cambio de familia

Se realizaron 54 tomas de tiempo para la actividad de cambio de herramental, 37 en la plataforma de manejo M1 y 17 en la plataforma de manejo M2, dieron un promedio de 210 y 340 minutos respectivamente. A continuación se muestra el desglose de éstos tiempos que se tomaron (Tabla 4.21).

Tabla 4.21 Tiempos de cambio de familia.

A) M1	Sequence	Family Setup	Time (sec)	Frequency	Total
	1	Go for material	1348.2	2	
	2	Change fixture	474.6	2	949
	3	Change handler kit	297.8	2	596
	4	Store used handler kit	26.3	2	53
	5	Check parameters	94.1	2	188
	6	Change recipe	73.6	2	147
	7	Calibrate arm	241.2	2	482
	8	Store calibration samples	62.5	2	125
	9	Get golden patterns	127.9	2	256
	10	Install golden patterns	93.4	2	187
	11	Load information in system	114.4	2	229
	12	Correlating	2021.4	2	4043
	13	Rename and finish write data	188.1	2	376
	14	Remove golden pattern	46.7	2	93
	15	Load lot	95.9	2	192
	16	Load material	137.5	2	275
	17	Get red trays	154.1	2	308
	18	Tune handler	420.4	2	841
	19	Fill set up paper	191.7	2	383
	20	Update data	62.2	2	124
	21	Do daily report	82.4	2	165

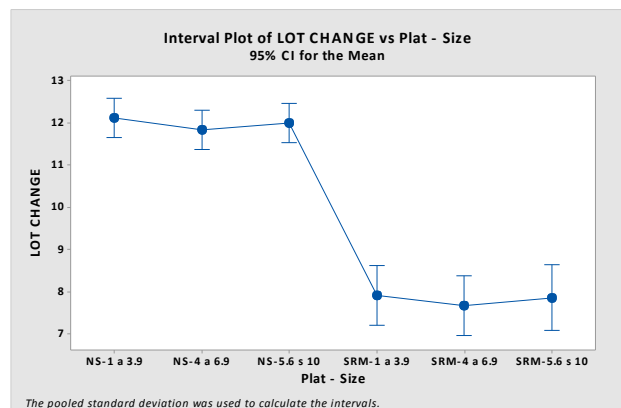
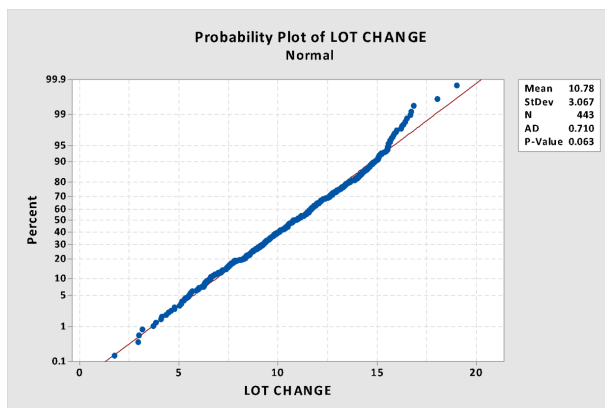
B)	Sequence	Family Setup SRM	Code	Time (sec)	Frequency	Total
M2	1	Go for material	3		3	0
	2	Change fixture	1	1248.4	3	3745
	3	Change handler	1	2266.1	3	6798
	4	Adjust site 1	2	598.4	3	1795
	5	Check parameters	2	274.4	3	823
	6	Check camera and train it	2	274.7	3	824
	7	Correlating	1	429.0	3	1287
	8	Take sample strip por adherence test	3	187.0	3	561
	9	Change status	1	226.7	3	680
	10	Do adherence test	2	648.9	3	1947
	11	Write results in machine	5	280.0	6	1680
	12	Restart machine	1	86.4	3	259

4.8 Análisis de normalidad de los datos

4.8.1 Cambio de lote

Se realizaron 443 tomas de tiempo a cambios de lote en la plataformas de manejo de material M1 y M2. Se anota que la gráfica apenas pasa la prueba de normalidad, con un p-value de 6.3% por lo que se procedió a estratificar los datos por plataforma, esto contribuyó en primer lugar en la mejora de la confiabilidad el estándar del modelo y en segundo lugar a establecer métodos diferentes para el cambio de lote entre las dos plataformas.

Se ven en la gráfica de intervalos que existen dos poblaciones originadas por los dos tipos de manejadoras que se utilizan (M1 y M2). Las medias para realizar la operación de cambio de lote en M1 10 ± 2.5 min, en M2 8 ± 2 min.



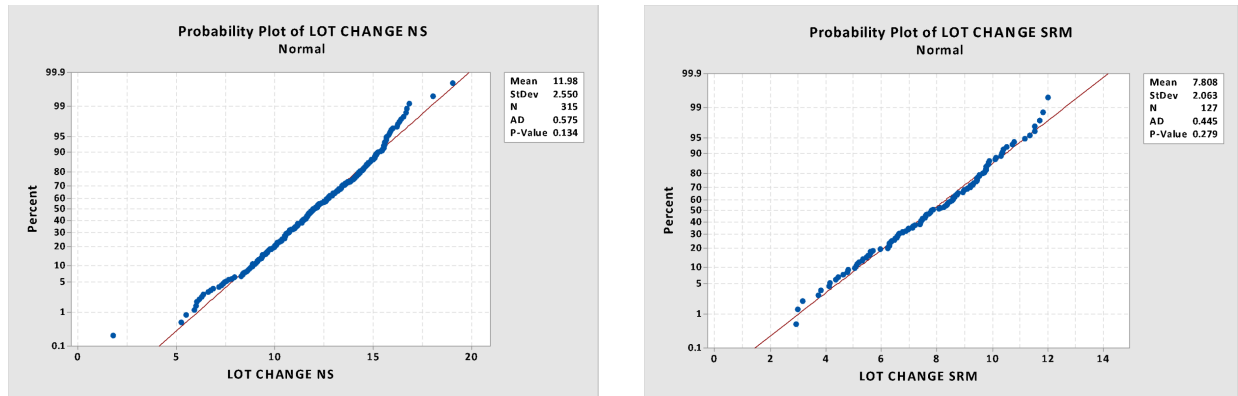


Figura 4.5 Análisis de normalidad en cambio de lote

a) Análisis de variación para cambio de lote en M1

Ho: Las medias del cambio de lote son iguales.

H1: Las medias del cambio de lote son diferentes.

Información de los factores

Factor	Niveles	Valores de los niveles
M1	3	M1-1 a 3.9, M1-4 a 6.9, M1-5.6 s 10

Análisis de variación

Fuente	GL	SS	MS	Valor F	Valor P
M1	2	4.22	2.109	0.32	0.724
Error	312	2038.17	6.533		
Total	314	2042.39			

Dado que F calculada es menor a F de tablas, se concluye que en el caso del cambio de lote en la plataforma NS las medias son iguales, por lo que se acepta Ho, Con esto se utiliza el valor de cambio de lote como un estándar.

b) Análisis de variación para cambio de lote en M2

Ho: Las medias del cambio de lote son iguales.

H1: Las medias del cambio de lote son diferentes.

Información de los factores

Factor	Niveles	Valores de los niveles
--------	---------	------------------------

M2 3 M2-1.6 a 2.8, M2-2.9 a 4.5, M2-4.6 a 5.5

Análisis de variación

Fuente	GL	SS	MS	Valor F	Valor P
M2	2	1.418	0.7092	0.16	0.849
Error	124	534.706	4.3121		
Total	126	536.125			

Dado que F calculada es menor a F de tablas, se concluye que en el caso del cambio de lote en la plataforma NS las medias son iguales, por lo que se acepta Ho, Con esto se utiliza el valor de cambio de lote como un estándar.

4.8.2 Cambio de receta

Se tomaron el tiempo a 168 cambios de receta en las plataformas de manejo de material M1 y M2, con una cantidad de muestras de 116 y 52 respectivamente.

En la Figura 4.6 se aprecia que los datos en general no pasa la prueba de normalidad, con un valor p menor a 0.5% por lo que se procedió a estratificar los datos por plataforma. Esto contribuyó en primer lugar en la mejora de la confiabilidad al estándar de cambio de receta que se usa en el modelo y en segundo lugar a establecer métodos diferentes para el cambio de receta entre las dos plataformas.

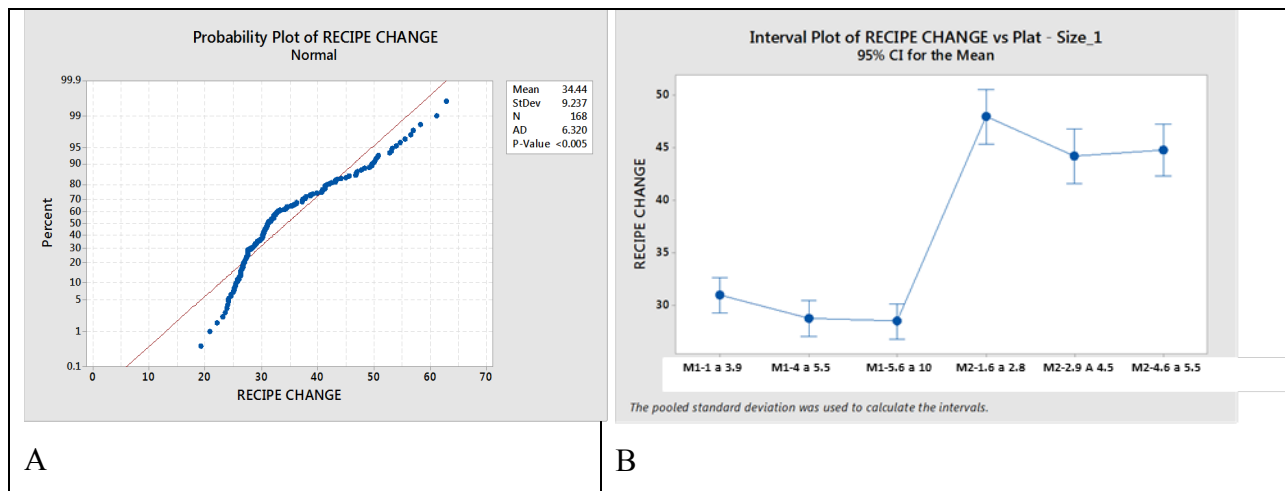


Figura 4.6 Análisis de normalidad en cambio de receta.

Se ve en la Figura 4.6B de intervalos que existen dos poblaciones originadas por los dos tipos de manejadoras que se utilizan (M1 y M2). Las medias para realizar la operación de cambio de lote en M1 30 ± 4.8 , en M2 45 ± 7.9 . Por lo anterior se procedió a realizar análisis de normalidad para medias separadas, esto se muestra en la Figura 4.7. En el caso de M1 se aprecia un valor p de 11.5%, por lo que se pasa la prueba de normalidad. Para el caso de M2, el valor p es de 89.6% esto significa que los datos están muy correlacionados y son normales.

Para ambas plataformas se decidió continuar estratificando los datos, por rangos de tamaño de paquete, para M1 1mm a 3.9mm en su nivel más pequeño, 4 a 5.5 en su nivel mediano y 5.6 a 10mm en su nivel de paquete grande. En cuanto a los rangos quedaron M2 1.6mm a 2.8mm en su nivel más pequeño de paquete, 2.9mm a 4.5mm en su nivel de paquete mediano y 4.6mm a 5.5mm en su nivel de paquete grande.

El hacer esta división en los datos contribuyó todavía más a mejorar la normalidad y a establecer niveles diferenciados de media y desviación estándar para los diferentes grupos, esto se muestra con más detalle en la Tabla 4.7.

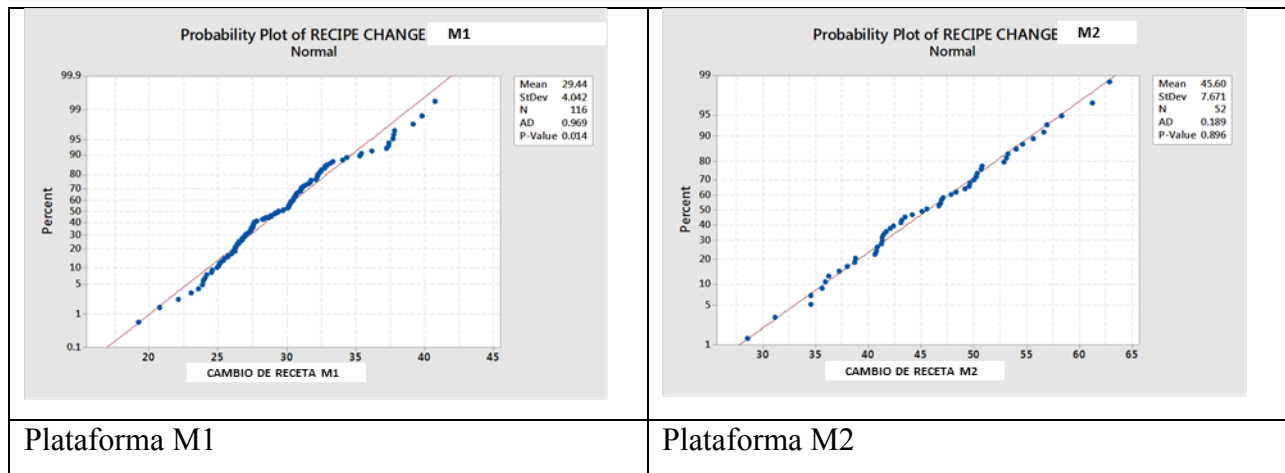


Figura 4.7 Análisis de normalidad en cambio de receta por plataforma.

De acuerdo a lo mostrado en la Figura 4.8, se aprecia que en tanto en la plataforma M1 la dispersión de los datos es menor en la manejadora M1 que en la M2 y se repite el patrón de tiempo de ajuste mayor en los paquetes de tamaño pequeño.

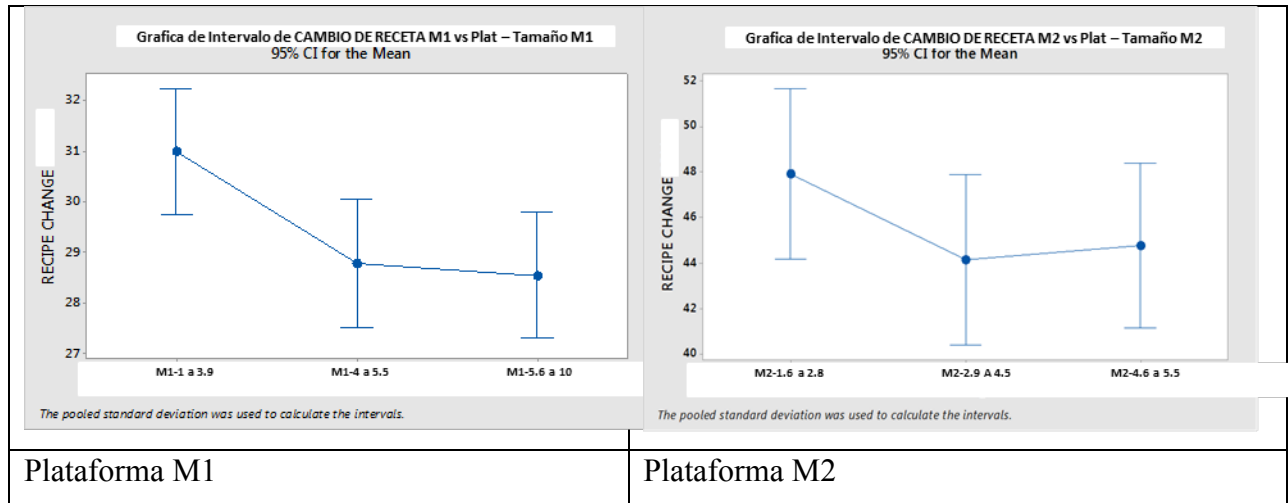


Figura 4.8 Gráfica de intervalos para cambio de receta por plataforma

a) Plataforma M1

Ho: Las medias son iguales.

H1: Las Medias son diferentes.

Alfa: 5%.

Información de los factores

Factor	Niveles	Valores de los niveles
M1	3	M1-1 a 3.9, M1-4 a 6.9, M1-5.6 a 10

Análisis de variación

Fuente	GL	SS	MS	Valor F	Valor P
M1	2	140.9	70.47	4.58	0.012
Error	113	1738.1	15.38		
Total	115	1879.1			

De acuerdo con los resultados del análisis de variación se constata que el valor de F experimental es mayor al de F de tablas, por lo tanto se rechaza Ho y se acepta la hipótesis alternativa, con esto se soporta el estándar diferenciado para la plataforma M1 que existe en cada nivel del rango de paquetes, los paquetes de rango más pequeño tienen un tiempo de ajuste mayor.

b) Plataforma M2

Ho: Las medias son iguales.

H1: Las Medias son diferentes.

Alfa: 5%.

Información de los factores

Factor	Niveles	Valores de los niveles
M2	3	M2-1.6 a 2.8, M2-2.9 a 4.5, M2-4.6 a 5.5

Análisis de variación

Fuente	GL	SS	MS	Valor F	Valor P
M2	2	139.0	69.50	1.19	0.313
Error	49	2861.9	58.41		
Total	51	3000.9			

De acuerdo con los resultados del análisis de variación se constata que el valor de F experimental es mayor al de F de tablas, por lo tanto se rechaza Ho y se acepta la hipótesis alterna, con esto se puede soportar el estándar diferenciado para la plataforma M2 que existe en cada nivel del rango de paquetes, los paquetes de rango más pequeño tienen un tiempo de ajuste mayor.

4.8.3 Cambio de herramientas

Se tomaron el tiempo a 120 cambios de herramienta en las plataformas de manejo de material M1 y M2, con una cantidad de muestras de 84 y 36 respectivamente.

En la Figura 4.9 se aprecia que los datos en general no pasan la prueba de normalidad, con un valor p menor a 0.5% por lo que se procedió a estratificar los datos por plataforma y por rangos de tamaño de paquete, esto contribuyó en primer lugar en la mejora de la confiabilidad al estándar de cambio de receta que se usa en el modelo y en segundo lugar a establecer métodos diferentes para el cambio de receta entre las dos plataformas.

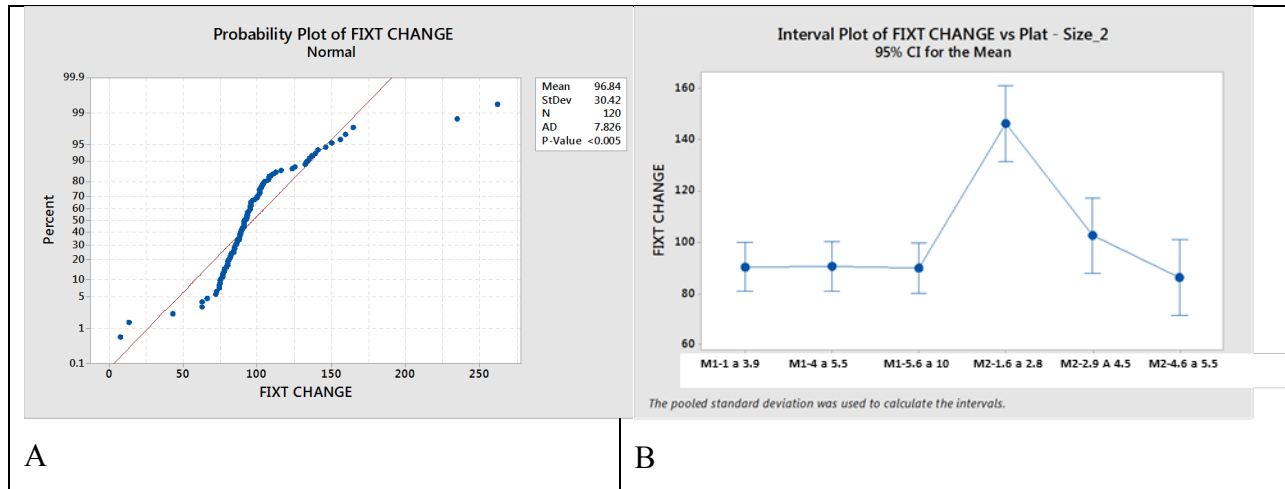


Figura 4.9 Análisis de normalidad en cambio de herramienta.

Se aprecia en la Figura 4.9B de intervalos que existen dos poblaciones originadas por los dos tipos de manejadoras que se utilizan (M1 y M2). En la plataforma M1 es bastante evidente que entre más pequeño de el paquete la duración del cambio de herramienta es mayor. Las medias para realizar la operación de cambio de herramienta M1 90 +/- 7.8, en M2 98.2 +/- 35.4.

Por lo anterior se procedió a realizar análisis de normalidad para medias separadas, esto se muestra en la Figura 4.10. En el caso de M1 se aprecia un valor p de 78.5%, por lo que se pasa la prueba de normalidad, para el caso de M2, el valor p es de 16.1% esto significa que los datos son normales. Para ambas plataformas se decidió continuar estratificando los datos, por rangos de tamaño de paquete, para M1 1mm a 3.9mm en su nivel más pequeño, 4 a 5.5 en su nivel mediano y 5.6 a 10mm en su nivel de paquete grande.

En cuanto a los rangos quedaron M2 1.6mm a 2.8mm en su nivel más pequeño de paquete, 2.9mm a 4.5mm en su nivel de paquete mediano y 4.6mm a 5.5mm en su nivel de paquete grande.

El hacer esta división en los datos contribuyó todavía más a mejorar la normalidad y a establecer niveles diferenciados de media y desviación estándar para los diferentes grupos, esto se muestra con más detalle en la Tabla 3.1.

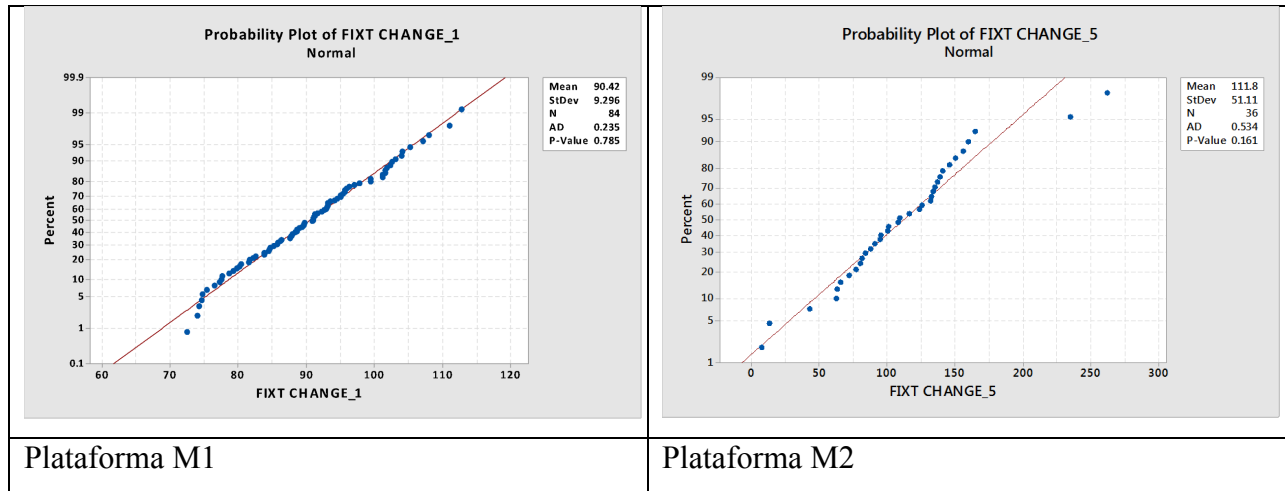


Figura 4.10 Análisis de normalidad en cambio de herramienta por plataforma.

Como se aprecia en la Figura 4.11, en la plataforma M1 la dispersión de los datos es menor en la manejadora M1, sus medias no varían de forma sensible por influencia del tamaño del paquete.

En cuanto a la plataforma M1, de acuerdo a lo expuesto en la Figura 4.11, se ve que existe entre más pequeño el tamaño del paquete, más alto es el tiempo de ciclo en cuanto al cambio y ajuste de herramienta. La dispersión de los datos es similar en los tres grupos y la media es ligeramente superior en el tamaño de paquete mediano y el grande.

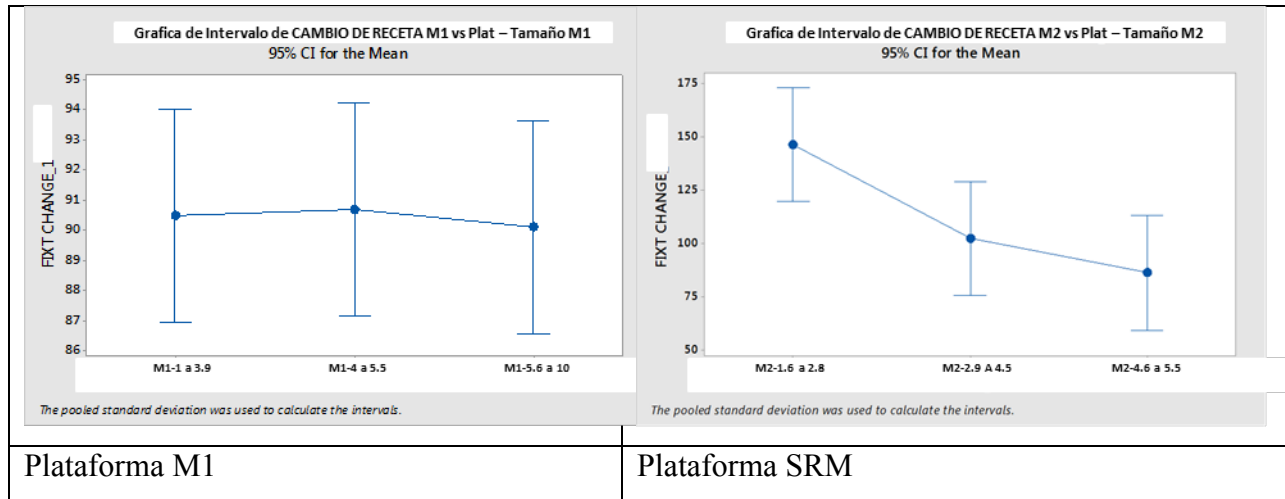


Figura 4.11 Gráfica de intervalos para cambio de herramientas por plataforma.

a) Análisis de la plataforma M1.

Ho: Las medias son iguales.

H1: Las Medias son diferentes.

Alfa: 5%.

Información de los factores

Factor	Niveles	Valores de los niveles
M1	3	M1-1 a 3.9, M1-4 a 6.9, M1-5.6 a 10

Análisis de variación

Fuente	GL	SS	MS	Valor F	Valor P
M1	2	4.86	2.428	0.03	0.973
Error	81	7167.46	88.487		
Total	83	7172.32			

De acuerdo con los resultados del análisis de variación se constata que el valor de F experimental es mayor al de F de tablas, por lo tanto se rechaza Ho, y se acepta la hipótesis alternativa, con esto se soporta el estándar diferenciado para la plataforma M1 en lo que respecta al cambio de herramienta, éste que existe en cada nivel del rango de paquetes, los paquetes de rango más pequeño tienen un tiempo de ajuste mayor.

b) Análisis de la plataforma M2

Ho: Las medias son iguales.

H1: Las Medias son diferentes.

Alfa: 5%.

Información de los factores

Factor	Niveles	Valores de los niveles
M2	3	M2-1.6 a 2.8, M2-2.9 a 4.5, M2-4.6 a 5.5

Análisis de variación

Fuente	GL	SS	MS	Valor F	Valor P
M2	2	23120	11560	5.59	0.008
Error	33	68294	2070		
Total	35	91413			

De acuerdo con los resultados del análisis de variación se constata que el valor de F experimental es mayor al de F de tablas, por lo tanto se rechaza H_0 , y se acepta la hipótesis alternativa, con esto se soporta el estándar diferenciado para la plataforma M2 en lo que respecta al cambio de herramienta, éste que existe en cada nivel del rango de paquetes. Los paquetes de rango más pequeño tienen un tiempo de ajuste mayor.

4.8.4 Cambio de familia

Se tomaron el tiempo a 54 cambios de familia o geometría en las plataformas de manejo de material M1 y M2, con una cantidad de muestras de 37 y 17 respectivamente.

En la Figura 4.12 se aprecia que los datos en general apenas pasa la prueba de normalidad, con un valor p, 7.1%, lo cual nos muestra que los datos apenas son normales.

Por lo anterior, que se procedió a estratificar los datos por plataforma y por rangos de tamaño de paquete. Esto contribuyó en primer lugar en la mejora de la confiabilidad al estándar de cambio de familia que se usa en el modelo y en segundo lugar a establecer métodos diferentes para el cambio de receta entre las dos plataformas.

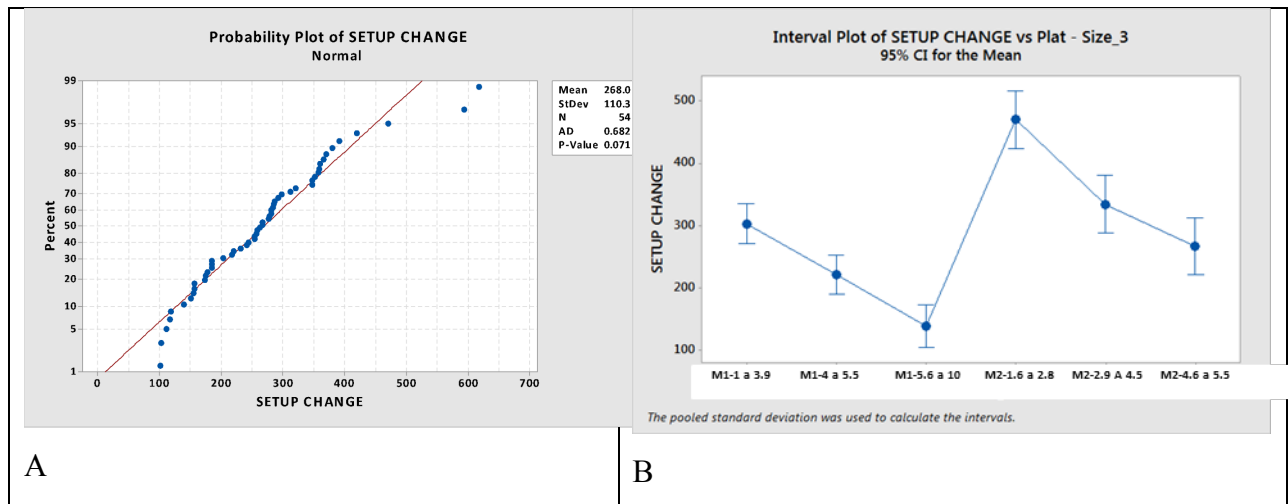


Figura 4.12 Análisis de normalidad en cambio de familia

Se aprecia en la Figura 4.12B de intervalos que existen dos poblaciones originadas por los dos tipos de manejadoras que se utilizan (M1 y M2). En la plataforma M2 es bastante evidente que entre más pequeño del paquete la duración del cambio de herramienta es mayor. Las medias

para realizar la operación de cambio de familia M1 210 +/- 42.1 minutos, en M2 340 +/- 38.4 minutos.

De acuerdo con lo anterior se procedió a realizar análisis de normalidad para medias separadas, esto se muestra en la Figura 4.13, en el caso de M1 se aprecia un valor p de 26.5%, por lo que se pasa la prueba de normalidad. Para el caso de M2, el valor p es de 9.0% esto significa que los datos son normales.

Para ambas plataformas se decidió continuar estratificando los datos, por rangos de tamaño de paquete, para M1 1mm a 3.9mm en su nivel más pequeño, 4 a 5.5 en su nivel mediano y 5.6 a 10mm en su nivel de paquete grande.

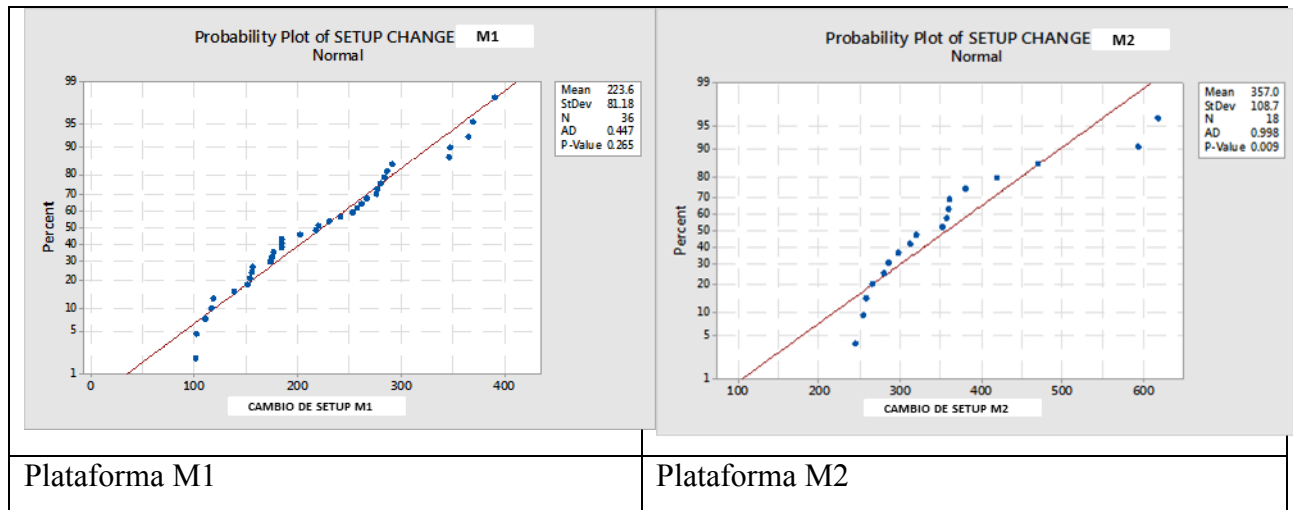


Figura 4.13 Análisis de normalidad en cambio de familia por plataforma

De acuerdo a lo que se ilustra en la Figura 4.14, en la plataforma M1 la dispersión de los datos es menor, sus medias no varían de forma sensible por influencia del tamaño del paquete.

En relación a la plataforma M2 de acuerdo a lo expuesto en la Figura 4.14, se aprecia que existe entre más pequeño el tamaño del paquete, más alto es el tiempo de ciclo en cuanto al cambio y ajuste de herramienta, la dispersión de los datos es similar en los tres grupos y la media es ligeramente superior en el tamaño de paquete mediano y el grande.

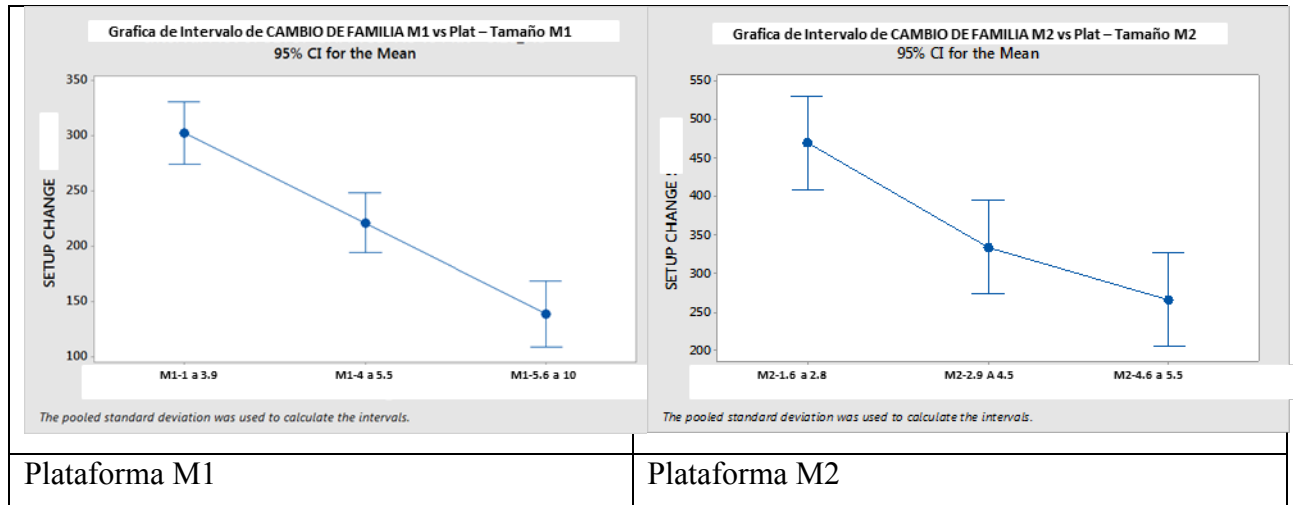


Figura 4.14 Gráfica de intervalos para cambio de familia por plataforma

Por lo anterior se concluye que aunque la operación de cambio sea realizada manualmente por los operadores, la operación es lo suficientemente robusta para definir estándares de cambio por tipo de plataforma y por rango de tamaños de paquete.

Esto es de suma utilidad para propósito del modelo de planeación, se anticipa el consumo de capacidad por influencia de los diferentes cambios que se hacen para producir los volúmenes requeridos en la mezcla que el mercado necesita

Lo anterior al ser planificado por familia, tiene un efecto de aprovechamiento mucho mejor que planificarlo por número de parte o producto.

a) Análisis de la plataforma M1

Ho: Las medias son iguales.

H1: Las Medias son diferentes.

Alfa: 5%.

Información de los factores

Factor	Niveles	Valores de los niveles
M1	3	M1-1 a 3.9, M1-4 a 6.9, M1-5.6 a 10

Análisis de variación

Fuente	GL	SS	MS	Valor F	Valor P
M1	2	154084	77042	33.20	0.000
Error	33	76576	2320		
Total	35	230660			

De acuerdo con los resultados del análisis de variación se constata que el valor de F experimental es mayor al de F de tablas, por lo tanto se rechaza H_0 , y se acepta la hipótesis alternativa, con esto se puede soportar el estándar diferenciado para la plataforma NS en lo que respecta al cambio de familia de productos, éste que existe en cada nivel del rango de paquetes. Los paquetes de rango más pequeño tienen un tiempo de ajuste mayor.

b) Análisis de la plataforma M2

H_0 : Las medias son iguales.

H_1 : Las Medias son diferentes.

Alfa: 5%.

Información de los factores

Factor	Niveles	Valores de los niveles
M2	3	M2-1.6 a 2.8, M2-2.9 a 4.5, M2-4.6 a 5.5

Análisis de variación

Fuente	GL	SS	MS	Valor F	Valor P
M2	2	128297	64149	13.26	0.000
Error	15	72573	4838		
Total	17	200871			

De acuerdo con los resultados del análisis de variación se constata que el valor de F experimental es mayor al de F de tablas, por lo tanto se rechaza H_0 y se acepta la hipótesis alterna, con esto se puede soportar el estándar diferenciado para la plataforma M2 en lo que respecta al cambio de familia de productos, éste que existe en cada nivel del rango de paquetes, los paquetes de rango más pequeño tienen un tiempo de ajuste mayor.

4.9. Matrices de agrupación de las familias de productos

De acuerdo a lo expuesto en la Tabla 3.1, se prepara una matriz por Geometría de tamaño de paquete, en ésta se consideran las herramientas disponibles para los números de parte que comprende la familia. En el caso si los números de parte comparten herramienta, su tiempo de cambio entre productos se limita a un cambio de receta. En el caso que utilicen herramientas diferentes, su tiempo de cambio se limita a un cambio de herramental. En la Figura 4.15 se ilustra lo mencionado anteriormente. Se aprecia que los productos A, B y C comparten las herramientas XY. Los cambios que hayan entre estas únicamente se limitan a un cambio de receta. En el caso que se cambie del producto B al producto E, se realiza el cambio de herramientas. Para cambios entre productos que no pertenezcan a la misma geometría, se realiza el cambio de familia.

Herr	Producto	A	B	C	D	E	F	G				
XY	A	Cambio de Lote	Cambio de Receta		Cambio de Herramienta							
	B		Cambio de Lote									
	C	Cambio de Receta		Cambio de Lote								
VW	D	Cambio de Herramienta			Cambio de Lote	Cambio de Receta						
	E				Cambio de Receta	Cambio de Lote						
TU	F	Cambio de Herramienta						Cambio de Lote				
RS	G											Cambio de Lote

Figura 4.15 Morfología de la matriz de cambios dentro de la familia.

También se aprecia que para tener una sola matriz para todas las familias involucradas en el catálogo de productos, se consolidan todas las matrices individuales en una sola matriz. En éste caso cuando se realiza algún cambio de producto de una familia a otra, se incurre en tiempo de preparación o cambio correspondiente al Cambio de Familia según la Figura 4.16. Actualmente se cuenta con 83 familias de producto que se encuentran contenidas en la matriz.

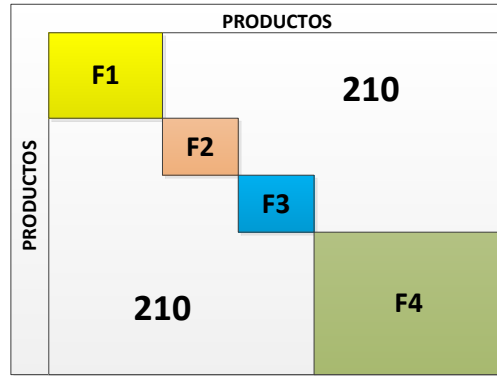


Figura 4.16 Morfología de la matriz de cambios de herramienta entre familias.

Con la información comprendida en lo enunciado en la Figura 4.16, se considera el tiempo de cambio correspondiente a la familia en el cálculo del nivel de ocupación y la saturación de los equipos utilizados para el procesamiento del volumen requerido. Como se ha mencionado anteriormente, primero se agotan todas las posibilidades para que el equipo quede en la misma configuración dentro de una geometría o familia y al final se asigna a otra, esto ayuda a minimizar el tiempo de paro de máquina por transición de un producto a otro.

Dada la naturaleza del proceso de prueba de componentes electrónicos, y como se menciona anteriormente, se tienen dos plataformas de prueba (1 y 2). En las matrices de cambio de la Figura 4.17, se aprecia la forma como se agrupa la información primero por plataforma y después por tamaño de geometría de paquete (familia). Los tiempos reflejados están denotados en minutos de paro de máquina y corresponden al cambio de una familia a otra. En relación a los tiempos de transición de la familia, éstos son los que se presentaron anteriormente en la Tabla 3.1.

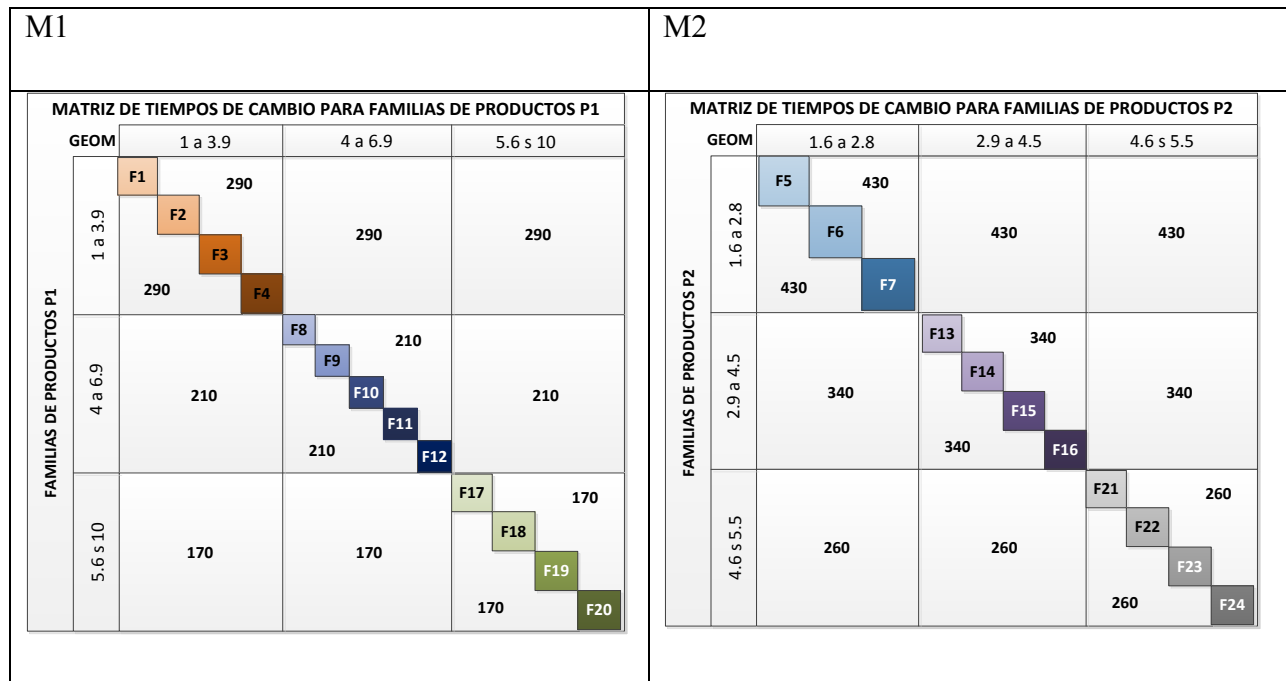


Figura 4.17 Matriz de tiempos de cambio de herramienta para familias de productos en las plataformas de prueba 1 y 2.

5. EXPERIMENTO

5.1 Diseño de la corrida de prueba

5.1.1 Selección de la familia

Para realizar la simulación del funcionamiento del modelo, se seleccionó una familia tipo A correspondiente a la geometría 8.15x5.6 (Alto volumen, alta frecuencia), en la que se corren 3 números de parte, un solo tipo de herramental de acuerdo a lo expuesto en la matriz ilustrada en la Figura 5.1.

No de Parte	Tiempo de Cambio (minutos)		
	X-1	X-2	W-1
X-1	10	30	30
X-2	30	10	30
W-1	30	30	10

Figura 5.1 Matriz de la Familia 8.15x5.6.

La familia antes mencionada representa un volumen que ocupa 80 máquinas de las 410 máquinas de la plataforma 1 dedicadas a realizar la prueba eléctrica de microcircuitos.

5.1.2 Extracción de lotes procesados

Se obtuvieron los datos de los lotes que fueron procesados durante el mes de Noviembre del 2015, para utilizarlos como base para verificar el modelo, de acuerdo a la tabla parcial ilustrada en la tabla 5.1. Lo anterior con el propósito de contar con información de los volúmenes producidos y del nivel de demanda de cada número de parte producido, para después realizar filtrado de la familia de productos 8.15x5.6.

Tabla 5.1 Parcial de volúmenes por número de parte de la familia 8.15x5.6.

Lote	No de 'arte	Estacion	Cantidad inicial	Tiempo de inicio de procesamiento	Tiempo de terminacion de procesamiento	No de Equipo	Cantidad final
1	X-2	TEST	7113	2016-01-01 00:13:18	2016-01-01 14:28:24	PF01	6836
2	X-2	TEST	5486	2016-01-01 14:39:24	2016-02-01 01:59:17	PF01	4891
3	X-2	TEST	6043	2016-01-02 02:09:06	2016-02-01 11:31:02	PF01	5971
4	X-2	TEST	6769	2016-01-02 11:40:51	2016-03-01 23:32:21	PF01	6463

5.1.3 Estándares de tiempo de procesamiento de producto

Se obtuvo información sobre los estándares a nivel producto de acuerdo a la matriz parcial ilustrada en la Tabla 5.2, misma que muestra información a nivel número de parte del tiempo que toma procesar cada pieza y los diferentes componentes del estándar (Tiempo de alimentación, tiempo de prueba eléctrica y tiempo de retiro)

La información mencionada en la columna Cycle Time de la Tabla 5.2 ésta se utiliza como estándar de producto, sirve para calcular el tiempo consumido por realizar la prueba de cada lote que se procesa en las máquinas.

Tabla 5.2 Estándares de producto.

No de Producto	Tamaño	Tiempo de prueba	Tiempo Índice	Tiempo Threshold	Tiempo de ciclo total
X1	8.15x5.6	1.10	0.00	0.14	1.24
X2	8.15x5.6	1.40	0.14	0.15	1.54
W1	8.15x5.6	1.15	0.14	0.15	1.29

5.2 Definición de escenarios para la prueba

Para realizar la comprobación de la eficiencia del algoritmo secuenciador expuesto anteriormente en la Figura 3.3, Se definieron los 3 escenarios para medir la eficiencia del modelo de acuerdo a lo siguiente:

Mejor Caso.- Únicamente se consideran equipos dedicados por número de parte, solo se toma tiempo muerto por cambio de lote.

Peor Caso.- Se considera que los equipos son compartidos entre las familias, cada cambio se toma como que un cambio de familia.

Propuesta.- Se consideran los cambios mínimos para procesar el volumen ordenado por número de parte por parte del cliente de acuerdo al algoritmo secuenciador Figura 3.3.

5.3 Análisis de resultados de los escenarios

5.3.1 Análisis del escenario de la propuesta

Para efectos de cálculo del tiempo se define la siguiente fecha de inicio de la prueba: Enero 1 a las 12:00AM y partiendo de esa consideración, el total de los lotes por máquina es secuenciado de acuerdo al modelo de secuencia dispuesto en la Figura 3.3.

Se comienza a asignar el tiempo de duración a cada lote (Piezas procesadas x Entandar de producto) y se aplica el tiempo de cambio (lote, receta, herramental y familia). El tiempo comprendido para procesar la cantidad de lotes del análisis se obtiene del tiempo de terminación menos el tiempo de inicio, lo anterior está ilustrado en la Tabla 5.4.

5.3.2 Análisis del Peor Escenario

Para efectos de cálculo del tiempo se define la fecha de inicio de la prueba la siguiente fecha: Enero 1 a las 12:00AM y partiendo de esa consideración, el total de los lotes por máquina es secuenciado de acuerdo al modelo de secuencia dispuesto en la Figura 3.3

Se comienza a asignar tiempo de duración de cada lote (Piezas procesadas x Entandar de producto) y de se aplica únicamente cambio de familia (210min aprox) el tiempo comprendido

para procesar la cantidad de lotes del análisis se obtiene del tiempo de terminación menos el tiempo de inicio, lo anterior está ilustrado en la Tabla 5.3

Tabla 5.3 Fechas de inicio y terminación por escenario.

Escenario	Start	Finish	CT (days)
Mejor	2016-01-01 00:00:00	2016-01-23 02:07:00	22.09
Peor	2016-01-01 00:00:00	2016-01-31 06:47:00	30.28
Propuesto	2016-01-01 00:00:00	2016-01-23 12:07:00	22.50

5.3.3 Matriz comparativa de escenarios

Con el propósito de medir la eficiencia de algoritmo secuenciado se desarrolla la matriz expuesta en la Tabla 5.4, en la cual se muestra gráficamente el tiempo ganado o perdido al moverse de un escenario al otro, ésta información está denotado en días.

Se aprecia por la diferencia en tiempos de los escenarios que el modelo propuesto se acerca mucho al mejor escenario. Esto significa que el modelo, aun cuando es heurístico es bastante eficiente ya que se aproxima mucho al mejor resultado, que es asumir que todos los productos son iguales.

Tabla 5.4 Comparación de escenarios expresada en Delta días.

Escenarios	Mejor	Peor	Propuesto
Mejor	0.00	-8.19	-0.42
Peor	8.19	0.00	-7.78
Propuesto	0.42	7.78	0.00

Los datos expuestos muestran que se mejora en la eficiencia de 7.78 días adicionales por cada mes. Esto significa incremento en 25.93% la capacidad instalada en la fábrica, tomando en

cuenta que el negocio no tiene orientación hacia familias, los resultados se acercan mucho al mejor escenario.

Actualmente el equipo de planeadores un tanto escépticos al impacto, han reconocido el incremento de 12% adicional en la capacidad instalada, al usar el algoritmo en condiciones reales, en la medida en la que se extienda la práctica de planeación y ejecución por familias, seguramente se obtendrán mejores resultados.

6. CONCLUSIONES

A lo largo del desarrollo de ésta investigación, nos hemos podido dar cuenta de muchas ventajas para que la persona que planea tenga un mayor conocimiento de las condiciones acerca de cada producto.

El planear sin entender las similitudes que existen en los productos, lleva a una miopía que dificulta el aprovechamiento adecuado de la capacidad instalada, es decir realizar cambios en exceso, lo que representa tiempo en que las máquinas no son productivas.

Con éste trabajo se han puesto los cimientos y la estructura para que el planeador realice su plan de corto plazo a nivel familia, asigne los equipos necesarios para atender las necesidades de la familia y poder actual rápidamente cuando un número de parte no alcanza llegar como fue planeado.

Los principios planteados en ésta investigación se desarrollaron en ambientes de prueba eléctrica, sin embargo el esquema es exportable a cualquier ambiente o negocio de manufactura discreta en el que se tenga que secuenciar ordenes de producción.

REFERENCIAS

- Andrés, C., Albarracín, J. M., Tormo, G., Vicens, E., García-Sabater, J.P. Group technology in a hybrid flowshop environment: a case study. *European Journal of Operational Research*, 167(1) (2005) 272-281.
- Anthony, R. N. Planning and control systems: a framework for analysis. Boston: Harvard University. 180 p., 1965.
- Bellanger, A., Oulamara, A. Scheduling hybrid flowshop with parallel batching machines and compatibilities. *Computers & Operations Research*, 36(6) (2009) 1982-1992.
- Brucker, P., Gladky, A., Hoogeveen, H., Kovalyov, M. Y., Potts, C. N., Tautenhahn, T. Scheduling a batching machine. *Journal of Scheduling*, 1(1) (1998) 31–54.
- Brucker, P. Scheduling Algorithms (2004). Springer, Osnabrück, Germany.
- Burbidge, J. L. The Introduction of Group Technology (1975). Heinemann Press, London.
- Burtseva, L., Yaurima, V., Romero, R. Sheduling methods for hybrid flow shops with setup times. In: Future manufacturing systems, Chapter 7. (2010) Sciyo, ISBN 978-953-307-128-2, 276.
- Burtseva, L. et. al. Lot processing in hybrid flow shop scheduling problem. In: Production Scheduling, Chapter 4. (2012) InTech ISBN 978-953-307-935-6.
- Cheng, T. C. E., Gupta, J. N. D., Wang, G. A review of flowshop scheduling research with setup times. *Production and Operations Management*, 9(3) (2000) 262–82.
- Cheng, T. C. E., Kovalyov, M.Y., Ng, C. T., Lam, S. S. Group sequencing around a common due date. *Discrete Optimization*. 5(3) (2008) 594-604.
- Crama, Y. Combinatorial optimization models for production scheduling in automated manufacturing systems. *European Journal of Operational Research*, 99(1) (1997) 136–153.
- Damodaran, P., Srihari, K. Mixed integer formulation to minimize makespan in a flow shop with batch processing machines. *Mathematical and Computer Modeling*, 40(13) (2004) 1465–1472.

- Damodaran, P., Srihari, K., Lam, S. Scheduling a capacitated batch processing machine to minimize makespan. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 23(2) (2007) 208–216.
- Dobson, G., Nambimadon, R. S. The batch loading and scheduling problem. *Operations Research*, 49(1) (2001) 52–65.
- Gunasekaran, A., McNeil, R., McGaughey, R., Ajasa, T. Experiences of a small to medium size enterprise in the design and implementation of manufacturing cells. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 14(2) (2001) 212–223.
- Hadjinicola, G.C., Kumar, K. R. Cellular manufacturing at champion irrigation products. *International Journal of Operations and Production Management*, 13(9) (1993) 53-61.
- Hax, A. C., Meal H.C. Hierarchical Integration Of Production Planning And Scheduling. 25 p. 1973. MIT, Arthur D. Little, Inc.
- Jacobs, F. R., Berry, W., Whybark, D., Vollmann, T. Manufacturing Planning and Control for Supply Chain Management, (2011) ISBN-10: 0071750312
- Jin, Z. H., Ohno, K., Ito, T., Elmaghraby, S. E. Scheduling hybrid flowshops in printed circuit board assembly lines. *Production and Operations Management*, 11(2) (2002) 216–230.
- Kempf, K. G., Uzsoy, R., Wang, C. S. Scheduling a single batch processing machine with secondary resource constraints. *Journal of Manufacturing Systems*, 17(1) (1998) 37–51.
- Kim, J. S., Kang, S. H., Lee, S. M. Transfer batch scheduling for a two-stage flowshop with identical parallel machines at each stage. *OMEGA International Journal of Management Sciences*, 25(5) (1997) 547–555.
- Kochhar, S., Morris, R. J. T. Heuristic methods for flexible flow line scheduling. *Journal of Manufacturing Systems*, 6(4) (1987) 299–314.
- Kusiak, A. The generalized group technology concept, *International Journal of Production Research*, 25(4) (1987) 561–569.
- Lee, C. Y., Uzsoy, R., Martin-Vega, L. A. Efficient algorithms for scheduling semiconductor burn-in operations. *Operations Research*, 40(4) (1992) 764–775.
- Lee, C. Y., Uzsoy, R. Minimizing makespan on a single batch processing machine with dynamic job arrivals. *International Journal of Production Research*, 37(1) (1999) 219–236.

- Li, S. A hybrid two-stage flowshop with part family, batch production, major and minor set-ups. *European Journal of Operational Research*, 102(1) (1997) 142-156.
- Liao, L. M., Huang, C. J. An effective heuristic for two-machine flowshop with batch processing machines. In: Proceedings of The 38th conference on computers and industrial engineering (ICCIE2008) (2008) Beijing, China.
- Liu, C.Y., Chang, S.C. Scheduling flexible flow shops with sequence-dependent setup effects. *IEEE Trans Robotics Automation*, 16(4) (2000) 408-419.
- Luo, H., Huang, G. Q., Zhang, Y., Dai, Q., Chen, X. Two-stage hybrid batching flowshop scheduling with blocking and machine availability constraints using genetic algorithm. *Robotics and Computer Integrated Manufacturing*, 25(6) (2009) 962-971.
- Lushchakova, I. N., Strusevich, V. A. Scheduling incompatible tasks on two machines. *European Journal of Operational Research*, 200(2) (2010) 334-346.
- Manjeshwar, K., Damodaran, P., Srihari, K. Minimizing makespan in a flow shop with two batch-processing machines using simulated annealing. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 25(3) (2009) 667-679.
- Mathirajan, M., Sivakumar, A. L. A literature review, classification and simple meta-analysis on scheduling of batch processors in semiconductor. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 29(9-10) (2006) 990-1001.
- Mitrofanov, S.P. Scientific Principles of Group Technology. (1966) National Lending Library, Yorkshire, UK.
- Morita, H., Shio, N. Hybrid Branch and Bound Method with Genetic Algorithm for Flexible Flowshop Scheduling Problem. *JSME-C International Journal*, 48(04-4214) (2005) 46-52.
- Orlicky J. A., Plossl, G. W., Wight O. W. Structuring the Bill of Material for MRP. In: M. A. Lewis and N. Slack eds. *Operations Management. Critical Perspectives on Business and Management*. V.2 (2003) 58-8, Routledge Taylor & Francis Group USA,
- Perez, I. C., Fowler, J. W. Carlyle, W. M. Minimizing total weighted tardiness on a single batch process machine with incompatible job families. *Computers and Operations Research*, 32(2) (2005) 327-341.
- Petrov, V.A. Flowline Group Production Planning (1966). *Business Publications*, London.

- Potts, C. N., Kovalyov, M. Y. Scheduling with batching: a review. *European Journal of Operational Research*, 120(2) (2000) 228-249.
- Quadt, D., Kuhn H. A taxonomy of flexible flow line scheduling procedures. *European Journal of Operational Research*, 178 (3) (2007) 686–98.
- Salomon, M., Solomon M. M., Van Wassenhove, L. N., Dumas, Y., Dauzère-Pérès, S. Solving the discrete lotsizing and scheduling problem with sequence dependent set-up costs and set-up times using the Travelling Salesman Problem with time windows. *European Journal of Operational Research*, 100 (1997) 494-513.
- Santos, D. L., Hunsucker, J. L., Deal, D. E. Global lower bounds for flow shops with multiple processors. *European Journal of Operational Research*, 80(1) (1995) 112-120.
- Tang, L., Luh, P. B., Liu, J., Fang, L. Steel-making process scheduling using Lagrangian relaxation. *International Journal of Production Research*, 40(1) (2002) 55–70.
- Uzsoy, R. Scheduling a single batch processing machine with non-identical job sizes. *International Journal of Production Research*, 32(7) (1994) 1615–1635.
- Uzsoy, R. Scheduling batch processing machines with incompatible job families. *International Journal of Production Research*, 33(10) (1995) 2685–2708.
- Vollmann, T., Berry, W. Manufacturing planning and control systems for supply chain. 2004.
- Wemmerlov, U., Hyer, N. L. Cellular manufacturing in the US industry: a survey of current practices. *International Journal of Production Research*, 27(9) (1989) 1511–1530.
- Xuan, H., Tang, L.X. Scheduling a hybrid flowshop with batch production at the last stage. *Computers & Operations Research*, 34(9) (2007) 2718–33.
- Yaurima, V., Burtseva, L., Tchernykh, A. Hybrid Flowshop with Unrelated Machines, Sequence Dependent Setup Time, Availability Constraints and Limited Buffers. *Computers & Industrial Engineering*, 56(4) (2009) 1452-1463.
- Yazdani, S. M. T., Jolai, F. Optimal methods for batch processing problem with makespan and maximum lateness objectives. *Applied Mathematical Modelling*, 34(2) (2010) 314-324.