

Estudio de caso: Implementación de un aplicativo para la planeación y programación de producción en una empresa autopartista.

A. Hernández & G. Mejía

Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia

RESUMEN: En este documento se describe el diseño e implementación de un sistema de soporte a la decisión para la planeación y programación de la producción en una PYME autopartista, programado en Visual Basic® para aplicaciones. Este aplicativo propone un plan maestro de producción y posteriormente programan las órdenes de producción en las prensas e inyectoras del área de vulcanización teniendo en cuenta las restricciones de capacidad y materia prima. Adicionalmente, registra de inventario de materia prima y producto terminado. Se registran los resultados, cuantitativos y cualitativos, obtenidos durante el primer mes de implementación.

ABSTRACT: This paper describes a design and implementation of a decision support system (DSS) for production planning and scheduling in a small enterprise of auto parts. The system was developed in Visual Basic for Application. The system calculates a Master Production Schedule and schedules the production orders in press and rubber injection units; taking into account installed capacity and raw materials availability. Furthermore, the systems updates raw material and finish products inventory. Testes and results obtained during a one month implementation are shown.

1 INTRODUCCIÓN

En Colombia las pequeñas y medianas empresas (PYMES) son el 9% del total de las empresas (Ministerio de Comercio, Industria y Turismo. República de Colombia., 2006) de éstas el 22% pertenecen al sector industrial. Las PYMES en Colombia generan el 63% del empleo, aportan el 37% del Producto Interno Bruto (PIB) (IBERPYPE, mayo 2005). Algunas ventajas de las PYMES son una estructura productiva flexible y mayor capacidad de respuesta a los cambios en la demanda. Por otro lado, entre sus debilidades se cuentan: escasa preparación de la mano de obra, deficiente organización de la producción y deficiente formación gerencial. (IBERPYPE, mayo 2005)

Respecto a la preparación de la mano de obra, el 35% de los empresarios PYMES considera que se requiere fortalecimiento en la formación en áreas como ventas y mercadeo, el 15% fortalecimiento en planeación, el 14% en producción y el 12% en recursos humanos. (FUNDES).

De esta manera, tanto estudios como empresarios en Colombia coinciden en señalar que una deficiencia importante de las PYMES está en la planeación y en la producción (FUNDES). Por otro lado, áreas de estudio como la investigación de operaciones, el control de producción y la pro-

gramación de la producción ofrecen métodos exactos y aproximados, para determinar el tamaño de lote, el programa de producción óptimo en las máquinas, el nivel de inventario, entre otras decisiones que se toman en una planta de producción. Para articular los métodos antes mencionados en empresas reales, estos métodos se incluyen en sistema de soporte a la decisión como: Planeación y programación avanzada (APS, siglas en inglés), Sistemas de programación finita (FCS, siglas en inglés) y Sistemas de planeación de producción (PPS, siglas en inglés) (McKay & Black, 1997) (McKay & Buzacott, 2000) (McKay & Wiers, 2003a).

Los sistemas de soporte a la decisión (DSS) contribuyen a que las empresas agilicen sus procedimientos y mejoren la calidad de las decisiones tomadas al interior de la misma. Las herramientas de este tipo deben adaptarse a la situación específica de la empresa y a la vez pueden requerir un cambio de procesos y cultura dentro de la compañía.

Esta investigación se desarrolla en una PYME que fabrica productos en caucho para el sector autopartistas e industrial. Esta empresa tiene problemas de incumplimiento de las fechas de entrega de los pedidos. En investigaciones anteriores (Hernández & Mejía, 2007) (Hernández, Zanello, & Mejía, junio 2008) se propuso un aplicativo, programado en Visual Basic 6®, que constituye un sistema que soporta el proceso de

toma de decisiones en cuanto a programación de la producción en esta PYME autopartista colombiana. Las pruebas piloto realizadas en el proyecto antes mencionado muestran que la implementación del aplicativo podría reducir de manera significativa los retrasos en la entrega de los pedidos y el número de pedidos retrasados y que entre los motivos de atraso se encuentran: la escasez de materia prima suficiente para cumplir la demanda y las averías en las máquinas.

En la actualidad el aplicativo no está siendo utilizado por la empresa y el problema de tardanzas en la entrega de pedidos sigue vigente. La empresa (comunicación personal con el jefe de planta) es consciente de que la implementación de un aplicativo de este tipo puede mejorar su desempeño respecto a los tiempos de entrega, organización en la planta, control de inventario, entre otros aspectos. Dado que el éxito de este tipo de aplicativos depende en gran medida del proceso de implementación es importante realizar un buen proceso de implementación del aplicativo, teniendo en cuenta las experiencias descritas en investigaciones anteriores.

El objetivo de este artículo es mostrar la transición del aplicativo inicial, programado en Visual Basic 6®, a un aplicativo con funciones adicionales, y programado en Visual Basic 6.0®. Y describir el proceso de diseño e implementación del aplicativo para la planeación y la programación de la producción, describir las dificultades que se presentaron durante la implementación y las soluciones encontradas y mostrar los resultados obtenidos. Este artículo se divide así: la sección 2 describe el problema, la sección 3 puntualiza los conceptos utilizados para el desarrollo de esta investigación. La sección 4 enumera los antecedentes de este proyecto. La sección 5 describe el aplicativo propuesto. La sección 6 describe el caso de estudio de la implementación. La sección 7 muestra los resultados de la implementación y la sección 8 enumera las conclusiones del artículo.

2 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

La empresa en la que se desarrolla este proyecto es una PYME que se dedica a la manufactura de

productos de caucho para el sector automotriz e industrial. Esta empresa es reconocida por cumplir con los requerimientos técnicos de calidad en sus productos; sin embargo, no cumple con las fechas de entrega de sus pedidos generando inconformidad entre sus clientes, sanciones y otras dificultades.

2.1 *Proceso de producción*

El sistema de producción consiste en tres procesos principales: Molino, vulcanización y terminado del producto. De acuerdo con las características del producto, el proceso de vulcanización se lleva a cabo ya sea en presas e inyectoras de vulcanización, túnel de vulcanización continua o autoclave de vulcanización.

Esta investigación se concentra en el área de vulcanizado por prensado e inyección porque esta área concentra el mayor volumen de producción de la empresa. La sección de vulcanizado cuenta con 8 presas de vulcanizado y 2 inyectoras, que procesan 6 tipos de moldes, clasificados de acuerdo con su altura y diseño. La clasificación es: las referencias del grupo A, B y D son fabricadas en las presas de la 1 a la 4, las referencias del grupo C son fabricadas en las presas de la 5 a la 8, las referencias del grupo E en la inyectora 1 y el grupo F en la inyectora 2. Adicionalmente las presas de la 1 a 4 pueden procesar hasta 4 moldes simultáneamente. La materia prima para el proceso de vulcanización son láminas de mezcla de caucho en este documento se usarán ambos términos indistintamente.

2.2 *Prácticas actuales para la programación de producción*

En la actualidad, la programación de producción se realiza de la siguiente forma: el jefe de producción calcula los requerimientos totales de las referencias solicitadas en todos los pedidos semanales, con la ayuda de una hoja de cálculo. A partir de los requerimientos totales, el inventario de producto terminado y los Kg. de mezcla de caucho disponibles determina la cantidad que debe producir. A continuación, realiza la programación de dichas cantidades en las ocho presas de vulcanización, y las dos inyectoras

considerando las restricciones de las máquinas. En general, se puede decir que la regla utilizada consiste en programar primero los trabajos de los productos, solicitados en el pedido más urgente o aquel trabajo para el que se tiene suficiente mezcla.

La programación se realiza día a día y puede cambiar en cualquier momento. En caso que los requerimientos totales no superen la capacidad de la planta y exista suficiente material prima, se ordena la producción de algunas referencias de alta circulación, según el criterio del jefe de producción. Estas tres prácticas: programación diaria, cambio frecuente de programación y definición de la cantidad a producir basada en la experiencia; generan tres dificultades: inestabilidad y desorden en la planta y sobrecostos por preparación de las prensas y ordenar la fabricación de cantidades mayores a las que se pueden vender, por no tener en cuenta pronósticos de ventas. Adicionalmente, otra dificultad que se presenta es que la disponibilidad de mezcla es limitada y que el jefe de producción debe manejar un número considerable de pedidos y debe tener en cuenta el nivel de urgencia de cada uno a la hora de secuenciarlos en las prensas e inyectoras.

La información requerida para realizar la programación de la producción es consultada en el sistema de información actual, el cual brinda información contable, información de los pedidos pendientes y del nivel de inventario de producto terminado y de mezcla. Este sistema es netamente informativo y no tiene algún soporte directo para la planeación y programación de la producción.

2.3 Propuestas de solución anteriores

El problema descrito fue estudiado anteriormente por Hernández y Mejía (2007) y Hernández, Zanello y Mejía (junio 2008). En primera instancia, Hernández (2007) propuso un aplicativo computacional, implementado en Visual Basic 6.0®, para la planeación y programación de la producción en la compañía. Este aplicativo realizaba el cálculo del plan maestro de producción. Posteriormente, creaba y confirmaba las órdenes de producción y finalmente, generaba un programa

de producción de producción para las 8 prensas del área de vulcanización, basado en reglas de despacho simples y teniendo en cuenta las restricciones de elegibilidad de máquina.

Posteriormente, se adicionaron, al aplicativo antes descrito, las siguientes funcionalidades: reglas de despacho adicionales para la programación de las presas y la posibilidad de registrar el daño de maquinaria y su posterior reprogramación. (Hernández, Zanello, & Mejía, junio 2008). En las pruebas piloto realizadas en ambas investigaciones (Hernández & Mejía, 2007) (Hernández, Zanello, & Mejía, junio 2008) se obtuvieron mejoras hasta de un 50% en cuanto a tardanza ponderada y 80% en número de trabajos tardíos (Hernández & Mejía, 2007). Adicionalmente, las investigaciones muestran que durante el periodo de prueba se presentó escasez de materia prima y fallas en las presas (Hernández, Zanello, & Mejía, junio 2008).

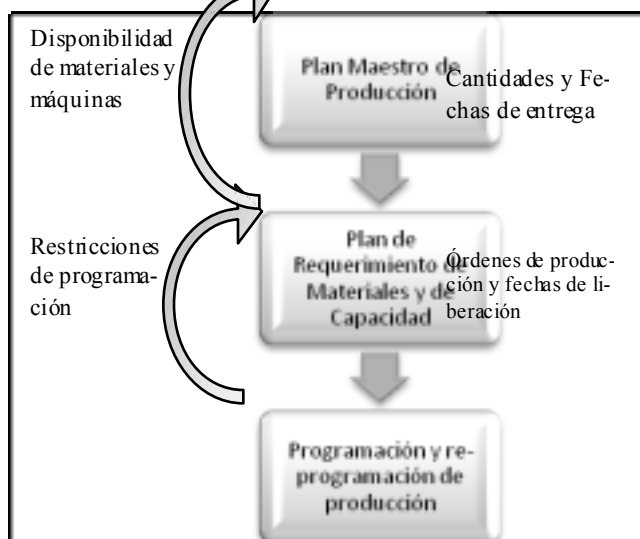
Recogiendo las experiencias de las investigaciones anteriores, en este documento se muestra el desarrollo de un sistema de soporte a la decisión que apoye las tareas de planeación y programación de la producción. El aplicativo ayudará a determinar las cantidades que deben fabricarse de cada producto teniendo en cuenta pronósticos de ventas y las órdenes ventas en firme. Luego, teniendo en cuenta el nivel de inventario de producto terminado, la disponibilidad de mezcla y la capacidad instalada en la planta, el aplicativo secuenciará los trabajos en la inyectora o presa que corresponda.

3 MARCO TEÓRICO

Esta sección define inicialmente los conceptos fundamentales que se utilizan para tomar las decisiones en una planta de producción; conceptos como: Plan Maestro de Producción, Requerimiento de Materiales, Planeación de la Capacidad y algoritmos para programar y re-programar la producción.

El Plan Maestro de Producción determina las cantidades que deben producirse para cumplir la demanda y tiene en cuenta las órdenes de los clientes y los pronósticos de ventas. Posteriormente, el Requerimiento de Materiales y la Pla-

neación de la Capacidad verifican que la cantidad propuesta por el Plan Maestro sea factible, es decir que se cuente con suficiente materia prima y capacidad disponible para fabricar la cantidad(es) de producto(s) propuestas. Si el Plan Maestro es factible se programan dichas cantidades en las máquinas utilizando algún algoritmo de programación que minimice algún criterio preestablecido (Pinedo, 2002). La gráfica 1 muestra una breve descripción del flujo de información entre estos tres procedimientos.



Al final de la sección se presentan las características de los sistemas de soporte a la decisión (DSS, siglas en inglés) para producción, estos sistemas integran y utilizan los conceptos mencionados con la experiencia de sus usuarios para mejorar el proceso de planeación y programación de la producción.

3.1 Conceptos fundamentales

Al interior de cualquier empresa de manufactura las tareas relacionadas con la planeación y control de producción se llevan a cabo en diferentes grados de detalle y jerarquía. Inicialmente, se genera un plan global de producción que está alineado con la estrategia de la compañía. A continuación, se planea detalladamente la capacidad y materia prima que se necesita para ejecutar dicho plan. Y finalmente, se ejecutan los planes en el piso de planta (Vollmann, Berry, & Whybark, 1997). En las siguientes secciones se exponen brevemente cada una de estas tareas.

3.1.1 Plan Maestro de Producción (MPS)

El Plan Maestro de Producción (MPS) es un plan operacional anticipado que vincula los pronósticos de demanda con la producción, se encarga de amortiguar las fluctuaciones de la demanda y la planta de producción (Proud, 1999). El MPS presenta la programación de entregas, definiendo la fecha y cantidades, que cumplan con la demanda. Dicha demanda puede cambiar en el tiempo, de modo que el MPS debe tener capacidad para reaccionar frente a cambios en la demanda.

Para realizar el Plan Maestro de Producción lo primero que debe determinarse es la longitud del período que se va a planear y con qué frecuencia se va a calcular el Plan Maestro de Programación. La longitud del periodo de programación es conocida como periodo de planeación y el tiempo que separa dos ejecuciones del Plan Maestro de Producción es el intervalo de re-planeación. El objetivo es que el periodo de planeación y el intervalo de re-planeación sean lo suficientemente extensos como para responder de manera adecuada a los cambios en la demanda.

Una vez el Plan Maestro de Producción está definido se pueden presentar cambios de la demanda que conlleven a tener que modificar las cantidades definidas inicialmente. Si el Plan Maestro de Producción se modifica cada vez que se presenta un cambio en la demanda genera inestabilidad en la planta de producción y si no cambia en presencia de fluctuaciones de demanda (Vollmann, Berry, & Whybark, 1997) no logra responder a las mismas. De modo que para responder a las fluctuaciones de demanda evitando desorden en la planta se define un periodo de congelamiento. Durante el periodo de congelamiento no se permite hacer ningún cambio al MPS, ni a la secuencia de trabajos en las máquinas (Tang & Grubbström, 2002).

Para determinar el valor del periodo de planeación, del intervalo de re-planeación y del periodo de congelamiento no existen algoritmos que determinen valores óptimos. Estas variables son influidas por factores como: errores en los pronósticos de la demanda en el intervalo de re-planeación y el periodo de congelación.

En general, para cubrirse del error en los pronósticos se utilizan políticas de MRP como: abastecimiento sobreestimados y/o inventarios de segu-

ridad. Cuando se aumentan alguno de estos factores se ha demostrado que se pueden obtener mejores tiempos de entrega. Sin embargo, cuando la incertidumbre de la demanda es alta se prefiere tener inventarios de seguridad (Tang & Grubbström, 2002). Teóricamente, los inventarios de seguridad ayudan a cumplir los requerimientos de los clientes cuando la demanda real es mucho mayor a la pronosticada.

En el caso de estudio que expone este documento, el periodo de planeación e intervalo de re-planeación es una semana y el periodo de congelamiento es un día.

3.1.2 Plan de Requerimiento de Materiales (MRP)

El Plan de Requerimiento de Materiales es un plan detallado de proceso para los componentes necesarios para ejecutar el MPS. El Plan de Requerimiento de Materiales convierte el MPS, en pasos específicos que deben realizarse para que el MPS se ejecute.

El Plan de Requerimiento de Materiales utiliza el MPS, la lista de materiales, que es una lista de todos los componentes que tiene cada producto y el nivel actual de inventario de los productos para determinar cuántos componentes se necesitan y cuándo se necesitan. Como resultado del se obtiene órdenes de compra y de producción. Las primeras son componentes que deben comprarse y los segundos son los que deben fabricarse (Vollmann, Berry, & Whybark, 1997).

3.1.3 Plan de Requerimiento de Capacidad (CRP)

El plan de requerimiento de capacidad utiliza el Plan de Requerimiento de Material para calcular la capacidad que se necesita para ejecutar el Plan Maestro de Producción. El Plan de Requerimiento de Capacidad utiliza la lista de materiales, las rutas que los productos siguen dentro de la planta, los tiempos de proceso estándar y de espera. Como resultado se obtiene un plan detallada de la capacidad requerida de cada centro de trabajo en cada periodo de tiempo (Vollmann, Berry, & Whybark, 1997).

3.1.4 Programación de la producción

La programación de la producción consiste en asignar, en un momento determinado, un conjunto de trabajos a un número finito de recursos, usualmente máquinas siguiendo un orden (Stoop & Wiers, 1996). Como resultado se obtiene un programa de producción, que es una secuencia de trabajos y la fecha de inicio y finalización de proceso de cada trabajo. El objetivo principal de cumplir los requerimientos de demanda, enviando al cliente la cantidad requerida, con la calidad esperada en el momento acordado.

En general se debe tener en cuenta restricciones de capacidad de máquina o mano de obra, así como disponibilidad de mezcla, restricciones de costos y restricciones tecnológicas de la maquinaria o de los trabajos. Adicionalmente la programación tiene otros objetivos, entre los que se encuentran: verificación de capacidad, brindar visibilidad de los planes en el futuro, brindar flexibilidad en caso que se presente un evento inesperado y evaluar el desempeño de la planta (Aytug, Lawley, McKay, Mohan, & Uzsoy, 2005).

En el ámbito académico, la programación de la producción se describe a través de tres características: ambiente de manufactura, restricciones y función objetivo. Entre los ambientes de manufactura se encuentran: una máquina (1), máquinas idénticas o con velocidades diferentes en paralelo (P_m, Q_m), flow shop (F_m), entre otros. Algunas restricciones son: trabajos con diferentes fechas de liberación (r_j), tiempo de preparación dependientes de la secuencia (s_{ij}) y restricción para elegir una máquina (M_j), entre otras. Entre las funciones objetivo se cuentan: tiempo de flujo (C_{max}), número de trabajos tardío ($\sum U_j$), sumatoria de tardanza y tardanza Ponderada Total ($\sum T_j, \sum w_j T_j$), donde tardanza, sólo toma valores mayores a cero, y es la diferencia entre la fecha de entrega definida y la fecha de terminación (Pinedo, 2002).

El ambiente de la planta donde se realiza el estudio de caso puede modelarse como $P_{10}/r_j, M_j / \sum T_j, \sum U_j$, es decir, diez máquinas idénticas en paralelo, donde los tiempo de liberaciones de los trabajos son diferentes y cada trabajo sólo puede ser procesado por un subconjunto de máquinas. La función objetivo es minimizar la sumatoria de la

tardanza y el número de trabajos tardíos; estas dos funciones objetivo fueron elegidas porque, como se dijo antes, la empresa tiene problemas con el cumplimiento de los pedidos. Es decir, que las entregas se hacen después de la fecha de entrega preestablecida.

3.1.4.1 Métodos de programación

En general los problemas de programación de producción se pueden resolver de manera exacta con programación lineal en instancias que tengan pocos trabajos o máquinas con restricciones sencillas. Para resolver problemas de mayor envergadura, como los que se encuentran en las plantas de producción reales se utilizan reglas de despacho, algoritmos de listas o metaheurísticas. El aplicativo diseñado durante este estudio implementa algunas reglas de despacho y la metaheurística de enfriamiento simulado.

Reglas de despacho

Las reglas de despacho son reglas de ordenamiento que tiene en cuenta algún criterio en especial para asignar los trabajos en las máquinas. Algunas de ellas ofrecen soluciones óptimas para ciertas funciones objetivo. A continuación se enumeran algunas reglas de despacho: primero en llegar, primero en procesarse (FIFO), tiempo de procesamiento más corto y más largo (SPT y LPT, respectivamente) y fecha de entrega más próxima (EDD), entre otras. De acuerdo con el ambiente de producción, las restricciones y la función objetivo, algunas reglas de despacho garantizan soluciones óptimas.

Enfriamiento simulado

Entre las metaheurísticas que se utilizan para resolver los problemas de programación de producción para máquinas en paralelo se encuentra el enfriamiento simulado. El enfriamiento simulado es una variante de la búsqueda local y está inspirada en el enfriamiento de metales (Dowsland & Adenso).

Los parámetros que deben definirse antes de desarrollar un enfriamiento simulado son: 1. temperatura inicial (T_o) y final (T_f), que sirven como criterio de parada, 2. El número de iteraciones en cada temperatura ($NumIter$), 3. α que indica el factor de disminución de la temperatura 4. $f(s)$ una función objetivo, para cada solución s .

El enfriamiento simulado comienza con una so-

Gráfica 2: Seudoalgoritmo de Enfriamiento Simulado (Dowsland & Adenso)

lución inicial (s_o), que se genera de manera aleatoria una solución s_l . Si la $f(s_l)$ es mejor que la $f(s_o)$ se acepta la solución s_l . En caso contrario la solución s_l es aceptada con una probabilidad igual a $\exp(-(f(s_l)-f(s_o))/T)$. Este procedimiento se repite tantas veces como iteraciones por temperatura se haya definido. Al finalizar las iteraciones en cada temperatura, ésta decae en un factor de α ; el procedimiento se repite hasta alcanzar la temperatura final (T_f). La Gráfica 2 muestra el seudoalgoritmo del enfriamiento simulado.

La idea principal del enfriamiento simulado es que al comienzo (temperaturas altas) se exploran soluciones buenas o malas, porque la probabilidad de aceptar soluciones que empeoran la función objetivo es mayor. A medida que el algoritmo avanza y la temperatura disminuye el valor de la función objetivo se estabiliza. Los parámetros que deben definirse para este algoritmo determinan el buen desempeño del mismo en ciertos problemas, específicamente problemas de programación de producción (Kima, Kima, Jangb, & Chenc, 2002).

En los problemas de programación de producción para máquinas en paralelo, la solución (s_o y s_l) corresponde a una secuencia de trabajos; luego el primer trabajo de la secuencia se asigna a la máquina con el menor índice (Kima, Kima, Jangb, & Chenc, 2002) o aquella con menor carga. La función objetivo puede ser definida como: tiempo de flujo, tardanza total, entre otras, enumeradas anteriormente.

3.1.4.2 Re-programación

Sea $f(\vec{s})$ el valor de la función objetivo con un vector solución \vec{s} y sea $N(\vec{s})$ el espacio de posibles soluciones.

Seleccionar una solución inicial \vec{s}_0

Seleccionar una temperatura inicial del sistema $T_0 > 0$

Seleccionar una temperatura final del sistema $T_f > 0$

Seleccionar una función de reducción de la temperatura α

Seleccionar un número de iteraciones *NumIter*

REPETIR

REPETIR

 Seleccionar aleatoriamente una solución

$s_i \in N(\vec{s}_0)$

Sea $\partial = f(\vec{s}_i) - f(\vec{s}_0)$

SI $\partial < 0$ ENTONCES $\vec{s}_0 = \vec{s}_i$

SINO

 Generar aleatoriamente $u \in U(0,1)$

Una vez se genera un programa de producción se pueden presentar eventos, tales como: llegada y cancelación de trabajos, fallas y reparación de maquinaria, problemas de calidad, ausentismo de operarios y escasez de materia prima, entre otros; que hacen que el programa inicial no se lleve a cabo tal como fue planeado. El proceso de actualizar el programa de producción se conoce como re-programación (Vieira, Herrmann, & Lin, 2003). Las técnicas de re-programación pueden ser vistas como una estrategia de control que tiene un impacto en el desempeño de los sistemas de producción. El objetivo de la re-programación es que los eventos inesperados no tengan un efecto importante sobre el desempeño del programa de producción esto se conoce como generar programa de producción robustos. Para definir un problema de re-programación se debe definir tres aspectos: ambiente, estrategias, política y métodos de re-programación.

Ambiente, estrategias y políticas y métodos de re-programación

El ambiente de re-programación define el conjunto de trabajos que deben ser re-secuenciados. El ambiente puede ser estático (número finito de trabajos) o dinámico (número infinito de traba-

jos). En el ambiente estático el problema puede ser determinístico si se cuenta con toda la información de los trabajos o estocástico, es decir que hay incertidumbre en alguna información de los trabajos. Cuando el ambiente es dinámico se presentan tres escenarios: sin variabilidad o incertidumbre en la llegada de trabajos o flujo del proceso, variabilidad solamente en las llegadas de trabajos y variabilidad solamente en el flujo del proceso de los trabajos. (Vieira, Herrmann, & Lin, 2003)

Las estrategias de re-programación sirven para controlar la producción en ambientes dinámicos, se tiene tres estrategias: dinámica, predictiva-reactiva y la híbrida. En la estrategia dinámica o reactiva no se genera una secuencia sino que cada vez que una máquina queda disponible se debe escoger un trabajo que debe procesarse a continuación; para escoger el trabajo se usan reglas de despacho o alguna heurística. Las estrategias predictiva-reactiva consisten en generar una secuencia inicial y actualizarla para responder a los eventos inesperados. Si la revisión de la secuencia y actualización de la misma se hace cada cierto intervalo de tiempo, se conoce como política periódica. Si la actualización se hace cuando ocurren ciertos eventos específicos, como la llegada de cierto número de trabajos o el averío de una máquina, la política se conoce como dirigida por eventos. Por último, existe una política híbrida que, como su nombre lo indica, es una combinación de las dos anteriores. Cada una de las políticas ofrece mejores o peores resultados en cuanto a estabilidad de la secuencia y otras medidas de desempeño.

Existen tres métodos de re-programación: el primero es generar secuencias robustas, su objetivo es mantener un buen desempeño del sistema con ajustes sencillos en la secuencia. Para generar secuencias robustas varios autores han propuesto algoritmos genéticos (Leon & Storer, 1994) y algoritmos de Branch-and-Bound (Wu, Byeon, & Storer, 1999), entre otros. Un segundo método de re-programación es la reparación de secuencias que consiste en hacer cambios al programa de producción cuando se presentan eventos inesperados que generan cambios grandes en los tiempos esperados de inicio y finalización de los trabajos. Existen tres métodos comunes para reparar

secuencias: correr a la derecha, regeneración y re-programación parcial. El primero consiste en posponer, tanto como dure el evento inesperado, la(s) operación(es) remanente(s) para que la secuencia sea factible. La programación parcial consiste en re-secuenciar solamente las operaciones directa o indirectamente afectadas por la interrupción. La regeneración consiste en re-secuenciar todos los trabajos que no han sido procesados, incluidos lo que no se ven afectados por la interrupción.

Medidas de estabilidad

Así como generar una buena secuencia inicial es importante y existen medidas para evaluar estas secuencias. También es importante que las diferentes estrategias y métodos de re-programación brinden estabilidad a las secuencias frente a los eventos inesperados. Una secuencia estable se define como aquella que no cambia en el tiempo a medida que llegan nuevos requerimientos de productos (Sridharan, Berry, & Udayabhanu, 1988). Es decir, que su calidad no disminuye o que no es necesario modificar, si sucede algo inesperado. La estabilidad es importante para mantener los objetivos de inventario terminado, tasas de llenado y tiempos de entrega (McKay, Pinedo, & Webster, 2002)

Para medir la estabilidad de la nueva secuencia frente a la secuencia original existen varias medidas entre las que se encuentran: las medidas de desviación (Q_i , Bard, & Yu, 2006): adelanto virtual (E_i), tardanza virtual (T_i) y desviación absoluta (D_i), que se definen en las ecuaciones: 1, 2 y 3, respectivamente.

$$E_i = \max(0, \bar{C}_i - C_i) \quad (1)$$

$$T_i = \max(0, C_i - \bar{C}_i) \quad (2)$$

$$D_i = |\bar{C}_i - C_i| \quad (3),$$

donde:

\bar{C}_i : tiempo de terminación de trabajo i con la secuencia nueva.

C_i : tiempo de terminación del trabajo i con la secuencia inicial.

Otra medida de desempeño es el número de trabajos interrumpidos (Azizoglu & Alagoz, 2005), que se define en la ecuación 4. Un trabajo inte-

rrumpido se define como aquel que en la secuencia nueva es procesado en una máquina diferente a la asignada en la secuencia inicial.

$$ND = \sum N_i \quad (4),$$

donde:

N_i es 1 si el trabajo i es interrumpido y 0 d.l.c.

Otras medidas son: el número de órdenes sin planear que se hicieron en cierto periodo y una medida ponderada que da mayor peso a los cambios, en la cantidad, hechos en periodos cercanos a la fecha actual (Sridharan, Berry, & Udayabhanu, 1988). Una última medida de estabilidad es la desviación en el tiempo de inicio (Abumaizar & Svestka, 1997) y se define en la ecuación 5.

Desviación del tiempo de inicio = demora + adelanto (5)

$$\text{Demora: } \sum \max(0, \bar{C}_i - C_i)$$

$$\text{Adelanto: } \sum \max(0, C_i - \bar{C}_i)$$

donde:

\bar{C}_i : Tiempo de terminación de trabajo i con la secuencia nueva.

C_i : Tiempo de terminación del trabajo i con la secuencia inicial.

3.2 Sistemas de soporte a la decisión en producción (DSS)

Los sistemas de soporte de la decisión (DSS) son sistemas computacionales que han sido desarrollados para ayudar a ejecutar las tareas del control de piso. Estos sistemas de soporte de la decisión reciben varios nombres: planeación y programación avanzada (APS, siglas en inglés), sistemas de programación finita (FCS, siglas en inglés) y sistemas de planeación de producción (PPS, siglas en inglés). Las principales tareas de estos sistemas son: planeación, programación de trabajos en el piso de la planta y despacho de pedidos.

El principal motivo para que una empresa quiera dejar de usar las metodologías manuales y se interese en implementar un sistema DSS en el área de producción es: ahorrar tiempo en el proceso de planeación, generar secuencias de órde-

nes de producción que minimicen cierta función objetivo y tener una visión global del estado de la planta (Mandal & A., 2003). Adicionalmente, los beneficios obtenidos en un proceso de implementación de un DSS no se derivan solamente de mejores secuencias, sino también de la mejora en los procesos y comunicaciones dentro de la compañía (McKay & Buzacott, 2000)

A pesar de sus ventajas, estos sistemas no alcanzan a reemplazar las labores de programación realizadas por los humanos, de modo que los DSS se encargan, generalmente, de las labores repetitivas de programación mientras que los humanos atienden trabajos con características especiales y actividades de re-programación. Por otro lado, la implementación de un DSS puede resultar innecesaria para aquellas empresas en las que el sistema de producción tiene poca variabilidad y bajo volumen. Así mismo, si la introducción de este tipo de sistemas dificulta el proceso de planeación y programación no genera ninguna mejoría dentro del sistema de producción, su implementación resulta poco conveniente (McKay & Buzacott, 2000)

3.2.1 Factores importantes para el diseño e implementación de DSS

El éxito de un DSS depende en buena medida del proceso de diseño e implementación del mismo. En esta sección se enumeran algunas metodologías que han sido utilizadas en los procesos de diseño e implementación de DSS.

Entre las metodologías utilizadas para el diseño de programas de computador, se encuentra la metodología XP (McKay & Wiers, 2003a). La metodología XP es una metodología ágil de diseño de programas de computador. La idea es que tanto un programador como el usuario final del programa de computador participen, conjuntamente, del diseño e implementación del mismo, de modo que este hecho a la medida del usuario e incluya las funciones que él realmente necesita. Esta metodología ha obtenido resultados muy favorables en programas de computador pequeños. Por otro lado, McKay et. al. (2003a) plantean que una causa de los fracasos en la implementación de los DSS radica en que éstos se muestran como

una solución genérica y no tienen en cuenta que la planeación y programación dependen de las interacciones y de la terminología usada al interior de la compañía, es decir de su cultura organizacional.

De este modo, sugieren que para el diseño e implementación de DSS se debe tener en cuenta cómo la gente dentro de la compañía realiza su trabajo y la razón por la que lo realizan de esa manera y de ese modo saber qué es lo que realmente necesita la empresa (McKay & Wiers, 2003a).

Otros factores críticos para implementar un DSS son (Mandal & A., 2003) (Umble, Haft, & Umble, 2003): 1. entendimiento las metas estratégicas, 2. compromiso de la administración y buen liderazgo, 3. buena dirección de proyectos, 4. dirección de cambio de cultura, 5. un grupo de implementación muy bueno, 6. integralidad de datos, 7. educación extensiva y 8. centrarse en medidas de desempeño.

Por otro lado, Huín (2004) concluye que la falta o la mala planificación del proceso de implementación son factores que incide de manera importante en el fracaso del proceso en las empresas pequeñas y medianas del sur este asiático, que tiene características similares con las empresas pequeñas y medianas a las colombianas.

3.2.2 Objetivos y características para un sistema DSS

Diversos autores han descrito procesos de desarrollo de un DSS en producción, de acuerdo con las características específicas del ambiente para el que se desarrolle el proceso, se definen diferentes objetivos y características para el sistema DSS.

Entre los objetivos que pueden tener los procesos de implementación de un DSS se encuentran: ayudar, al responsable de la programación de trabajos, a construir programas de producción que aunque no sean óptimas bajo los estándares de las funciones objetivos comunes, sean óptimos en el ambiente de producción. Así mismo, ayudar al proceso de re-programación (McKay & Buzacott, 2000). Soportar las fortalezas y debilidades de los responsables de la planeación, ayudando a ejecutar las tareas repetitivas de programación de producción y permitiendo la

manipulación manual de trabajos con requerimiento especiales o de situaciones específicas (McKay & Wiers, 2003a).

Para lograr los objetivos antes propuestos los DSS deben tener, entre otras, las siguientes características: usar terminología conocida en la empresa, manejar las tareas de programación de producción repetitivas, mostrar las restricciones del sistema de producción (capacidad o configuración), permitir la modificación de los programas de producción en la interfase gráfica y trabajar de manera eficiente en ambientes de alta presión (McKay & Black, 1997). Así mismo, estos sistemas deben incorporar proponen que para incorporar el conocimiento tácito de los responsables de la programación en los DSS, estos sistemas deber ser configurables o se debe permitir que el usuario final intervenga en la fase de diseño del aplicativo (Wiers & Van Der Schaaf, 1997).

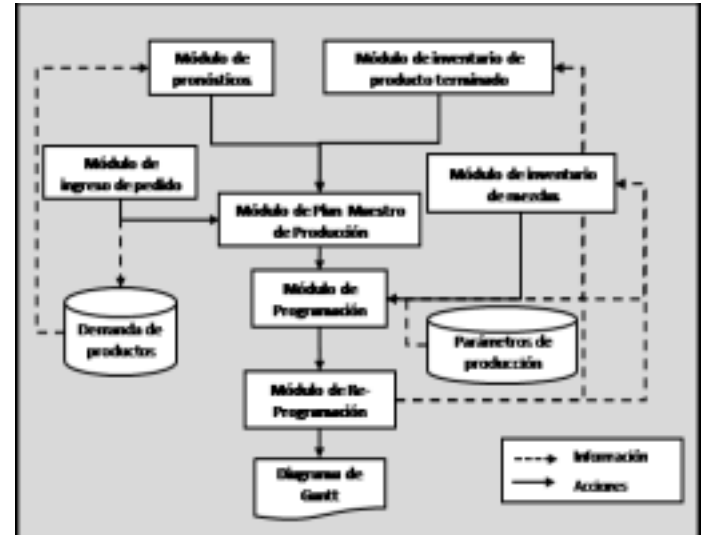
Wiers (1997) presenta un caso de estudio donde la complejidad del proceso de producción sea media, la incertidumbre de la demanda es alta y la flexibilidad de las unidades de producción es baja. De acuerdo con un análisis de estas características, Wiers (1997) define que el DSS debe permitir monitorear y resolver los problemas de las órdenes de producción e identificar posibles excepciones.

4 DESCRIPCIÓN DEL APLICATIVO

El aplicativo ejecuta dos tareas principales: 1. calcular el plan maestro de producción (MPS), 2. programar y re-programar las prensas e inyectoras de vulcanización. El aplicativo tiene una interfase gráfica para el ingreso y salida de información.

Para realizar las tareas principales el aplicativo requiere de la siguiente información: inventario de producto terminado, inventario de mezcla, información de demanda (órdenes de pedidos y pronósticos), parámetros de producción (requerimiento de materia prima, tasa de producción y restricciones de maquinaria). Las tareas auxiliares del aplicativo son: 1. registrar de pedido nuevos, 2. registrar de demanda mensual para cada referencia, 3. calcular de pronósticos de ventas

para cada referencia, 4. almacenar parámetros de producción para cada referencia, 5. registrar de nivel de inventario y consumo de mezclas de caucho y 6. registrar de inventario de producto terminado.



En resumen, el aplicativo unifica información del mercado (demanda) con las características y restricciones propias del sistema de producción para calcular el plan maestro de producción semanal. Este plan maestro de producción, después de ser confirmado por el responsable de la programación de la producción, es programado en las prensas e inyectoras de vulcanización. Adicionalmente, en presencia de eventos inesperados, como: escasez de materia prima, daño en máquina o ausencia de un operario el aplicativo provee políticas de re-programación para sobrepasar dichos eventos. De esta manera, el aplicativo es un sistema que soporta las decisiones que toma el responsable de la producción. Estas decisiones son: ¿cuánto, cuándo y en qué prensa producir? Y en caso de eventos inesperados, cómo solucionar estos inconvenientes. El funcionamiento del aplicativo se describe a continuación: el módulo de Plan Maestro de Producción calcula las cantidades que deben producirse cada semana utilizando la información del módulo de pronósticos, del módulo de ingreso de pedidos y de inventario de producto terminado. Posteriormente, las cantidades a producir deben ser confirmadas por la encargada de la producción, se calcula la materia prima y tiempo requeridos para fabricar dichas cantidades y se verifica su disponibilidad; sino

hay materia prima o capacidad suficiente, la cantidad propuesta por el Plan Maestro debe ser modificada manualmente. En último lugar los módulos de programación y re-programación generan un programa de producción que sufre modificaciones en presencia de eventos inesperados. El programa de producción generado retroalimenta los módulos de inventario de mezclas y producto terminado con los consumos y producción planeados. Así mismo, el módulo de ingreso de pedidos registra la demanda mensual de cada producto y esta información la usa el módulo de pronósticos para realizar sus cálculos. En la Gráfica 3 se muestran los módulos que componen el aplicativo y cómo se relacionan entre ellos y las siguientes sub-secciones describen las funcionalidades de cada uno de ellos.

4.1 Módulo de pronóstico de ventas

El módulo de pronósticos calcula un pronóstico de ventas mensuales para cada producto, usando

Gráfica 3: Estructura de módulos del Sistema de Soporte a la Decisión

la información histórica de demanda. Inicialmente, el usuario debe agrupar los productos de acuerdo con el volumen y el comportamiento de las ventas. Para cada uno de los grupos el aplicativo calcula un pronóstico agregado de ventas mensuales usando suavizamiento exponencial simple. El usuario debe definir el parámetro de suavizamiento. Posteriormente, teniendo en cuenta el porcentaje de las ventas de cada producto dentro de las ventas totales del grupo, desagrega los pronósticos y determina los pronósticos para cada producto. (Hernández & Mejía, 2007)

Por ejemplo un grupo conformado por los productos: TD-7001, TD-7002 y TD-7003 donde la demanda del mes anterior fue 500 unidades del TD-7001, 200 unidades del TD-7002 y 300 unidades del TD-7003 y el pronóstico agregado de demanda, para el grupo en el mes siguiente es 500 unidades. El pronóstico de cada referencia sería 250, 100 y 150 unidades respectivamente. El resumen de estos resultados se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1: Ejemplo de pronósticos agregados

	<i>Demanda</i>	<i>Porcentaje</i>	<i>Pronóstico</i>
TD-7001	500	50%	250
TD-7002	200	20%	100
TD-7003	300	30%	150
Total	1000	100%	500

Los pronósticos calculados por el aplicativo están sujetos a revisión por parte del director comercial de la compañía, él podrá modificar los pronósticos calculados por el aplicativo, si lo considera necesario. Así mismo es él quien decide la forma de agrupar los productos y se encarga de actualizar, con ayuda del aplicativo, y teniendo en cuenta la demanda histórica de cada producto el porcentaje de demanda agregada que le corresponde dentro del grupo de pronóstico. Los pronósticos de ventas son utilizados para calcular el plan maestro de producción de cada producto en cada semana. De ser necesario utilizar otros métodos de pronósticos, estos podrán ser incluidos en futuras versiones del aplicativo.

4.2 Módulo de inventario de producto terminado

El módulo de inventario de producto terminado lleva el registro de la cantidad de producto disponible para una fecha determinada. El registro de inventario se lleva en una hoja de Excel®. El inventario disponible de cada referencia en cada turno resulta del programa de producción propuesto para cada prensa e inyectora teniendo en cuenta la tasa de producción. En caso que el programa de producción sea modificado, el inventario disponible también cambia. Igualmente, en este módulo se debe registrar la entrega de los pedidos, de modo que el inventario de producto disminuya.

El inventario disponible de producto se utiliza, para calcular el plan maestro de producción para cada producto en cada semana. La Gráfica muestra el ciclo que se cumple para actualizar el inventario de producto terminado. Finalmente, la información del módulo de producto terminado puede servir para hacer estudios posteriores acerca del consumo de producto y los niveles mínimos y máximos de inventario más favorables para cada producto.

4.3 Módulo de inventario de mezclas de caucho.

El módulo de inventario de mezcla de caucho tiene el registro del consumo y disponibilidad de cada mezcla de caucho en una fecha determinada.

Para calcular el consumo proyectado de cada mezcla de caucho se tiene en cuenta el programa de producción propuesto para cada prensa e inyectora. Adicionalmente, en el módulo de inventario de materia prima, se debe registrar el ingreso de mezclas a medida que el molino las fabrica. Para realizar la programación de producción de las presas e inyectoras, el usuario puede determinar si quiere o no, tener en cuenta el inventario de mezclas de caucho para realizar la secuencia. Como muestra la Gráfica 5, si el usuario decide tener en cuenta la disponibilidad de mezclas de caucho, sólo se programarán aquellos órdenes de producción para las que haya suficiente mezcla para ser procesadas; de lo contrario, la factibilidad del programa de producción generado estará sujeta a la disponibilidad de mezclas de caucho. Es decir que el usuario puede gestionar la restricción de materia prima como considere conveniente. La información contenida en este aplicativo es útil para determinar con que frecuencia se debe ordenar cada mezcla de caucho y definir cuánto ordenar cada vez.

4.4 Módulo de ingreso de pedidos

El módulo de ingreso de pedidos, lleva el registro de los productos y cantidades que solicita cada cliente para una fecha específica.

El usuario utiliza una ventana para incluir la información de cada pedido el aplicativo verifica que la información sea válida y la registra. La ventana, que se muestra en la Gráfica 6, cuenta con una lista de clientes, un campo para incluir la fecha de entrega, el número de identificación del pedido, una lista de productos y un campo para incluir la cantidad solicitada de cada producto. Las cantidades solicitadas en cada pedido se utilizan para registrar la demanda semanal y mensual de cada producto. La demanda semanal se utiliza para calcular el plan maestro de producción semanal de cada producto y la demanda mensual es utilizada para realizar los pronósticos de ventas.

4.5 Módulo de Plan Maestro de producción

El módulo de plan maestro de producción se encarga de calcular la cantidad que debe producirse de cada producto en una semana determinada para cumplir con las órdenes de los clientes.

Para determinar la cantidad que debe producirse se utiliza ecuación 6, que es una adaptación de la propuesta por Segerstedt (1996):

$$\text{Cantidad a producir}_{t,j} = \max\{\max(F_{t,j}, O_{t,j}) - I_{t,j-1}, 0\} \quad (6),$$

donde:

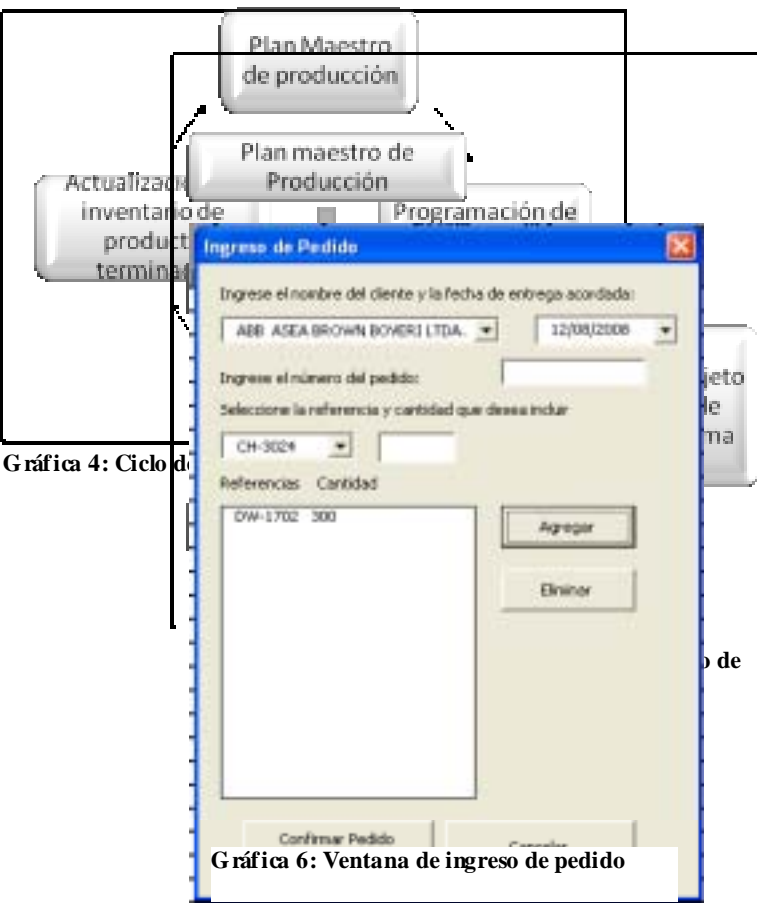
$\text{Cantidad a producir}_{t,j}$ = cantidad que debe producirse del producto j en la semana t

$F_{t,j}$ = el pronóstico de ventas del producto j en la semana t

$O_{t,j}$ = demanda del producto j en la semana t

$I_{t,j}$ = inventario disponible del producto j en la semana t

La cantidad a producir de cierto producto, en una semana determinada es mayor a cero cuando no hay suficiente inventario para cubrir la demanda o el pronóstico de ventas semanal. Cuando la demanda semanal de un producto sobrepasa el pronóstico de ventas en determinada semana, la cantidad a producir será la diferencia entre el inventario de la semana anterior y la demanda se-



Gráfica 4: Ciclo de

Gráfica 6: Ventana de ingreso de pedido

manal. En caso contrario, la cantidad a producir es la diferencia entre el pronóstico de ventas y el inventario de la semana anterior. La idea es que cuando la demanda semanal sobrepasa el pronóstico de ventas se produzca apenas para cumplir con las órdenes. Por otro lado, cuando los pronósticos de venta sobrepasen la demanda semanal, se produce suficiente para cubrir la demanda y tener cierta cantidad de producto en inventario para futuros pedidos.



Gráfica 7: Ciclo de verificación de factibilidad de Plan Maestro

Como resultado, se obtienen órdenes de producción planeadas para cada producto, con las cantidades calculadas. El responsable de la programación de producción puede modificar dichas cantidades y debe confirmar las órdenes para que a continuación sean programadas en las máquinas. El proceso de verificación se muestra en la Gráfica 7.

4.6 Módulo de programación

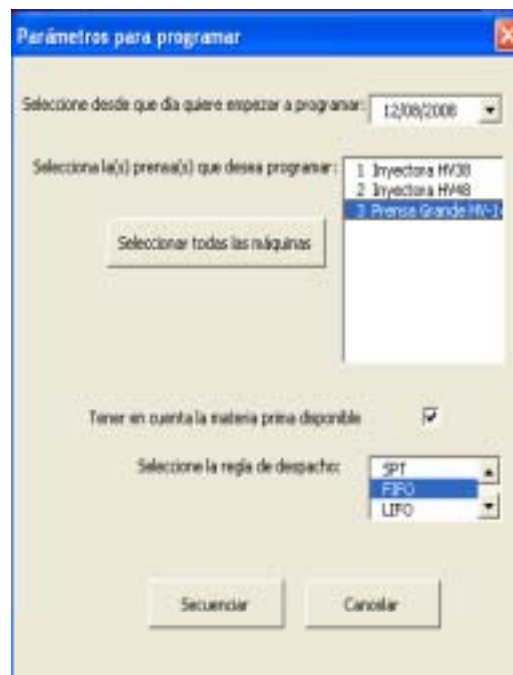
El módulo de programación se encarga de asignar las órdenes de producción en las prensas e inyectoras, la Gráfica 8 muestra la ventana para ingresar los parámetros para realizar la programación. El usuario debe ingresar la fecha de inicio del programa de producción que va a generar. El usuario seleccionar las prensas e inyectoras que desea programar, así como el criterio para

programarlas y si va a tener o no en cuenta la restricción de materia prima.

El usuario puede seleccionar entre cuatro criterios para programar la producción, estos criterios son: SPT (tiempo de procesamiento más corto), FIFO (primero en llegar, primero en salir), LIFO (último en llegar, primero en salir), enfriamiento

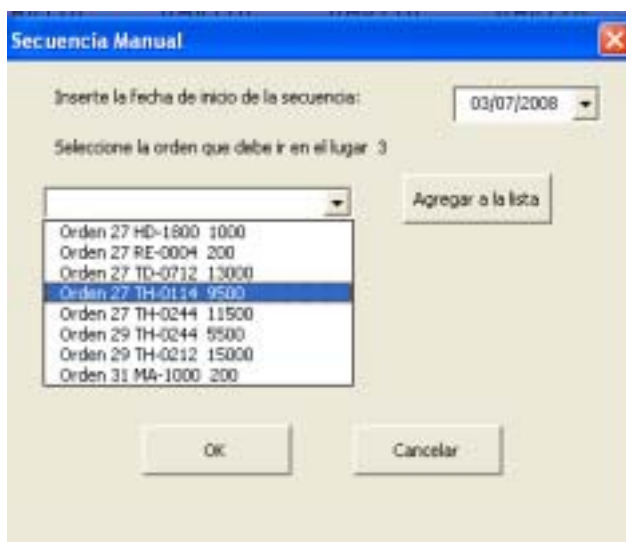
Gráfica 9: Ventana de Programación manual

simulado o manualmente. En el caso del algoritmo de enfriamiento simulado, el usuario debe definir previamente los parámetros de entrada del algoritmo (temperatura inicial y final, número de iteraciones y función objetivo).



Gráfica 8: Ventana de ingreso de parámetros para programar la producción

Para realizar la programación de producción en forma manual, el usuario utiliza la ventana que se muestra en la Gráfica 9. El usuario ingresa la fecha de inicio del programa de producción y



tiene una lista de las órdenes de producción que no han sido programadas. El usuario selecciona una por una las órdenes de producción de la lista en el disposición que el considere mejor.

Después de que se ingresan los criterios de programación el aplicativo estima para cada orden de producción confirmada se tiempo de procesamiento, en número de turnos, y el requerimiento de mezcla de caucho, en Kg. El tiempo de procesamiento incluye el tiempo de calentamiento de la prensa y tiene en cuenta la tasa de producción para cada producto. El requerimiento de mezcla de caucho tiene en cuenta la cantidad de mezcla que consume el producto y la rebaba del mismo.

Si hay suficiente capacidad instalada y materia prima para procesar una orden, ésta es asignada a la prensa o inyectora correspondiente, usando los criterios antes mencionados; en caso contrario, la orden no se asigna a ninguna prensa o inyectora. Aquellas órdenes de producción que no fueron asignadas por escasez de material, pueden ser programadas posteriormente usando la opción de escasez de materia prima.

Para que el programa de producción sea estable el usuario debe definir una *fecha de congelamiento*, de manera que el programa se mantenga igual hasta esa fecha.

Como resultado se obtiene un programa de producción para cada prensa o inyectora. Con esta secuencia se estima el consumo e inventario de mezclas de caucho y el inventario de producto terminado.



Gráfica 10: Ventana de programación con escasez de materia prima

4.6.1 Programación para escasez de material
Cada orden de producción requiere cierta cantidad de una mezcla específica. Cuando no hay suficiente cantidad de mezcla de caucho para procesar las órdenes de producción que la requieren, ninguna de las órdenes es asignada a alguna prensa o inyectora. Estas órdenes deben ser secuenciadas de manera manual con ayuda del aplicativo. La idea es que entre todas las órdenes de producción que requieren cierta mezcla la encargada de la producción escoja algunas, cuyo requerimiento total de mezcla de caucho, no supere la cantidad disponible, y que dichas órdenes sean programadas en las prensas o inyectoras correspondientes.

La Gráfica 10 muestra la ventana que se utiliza para realizar la programación de las órdenes de producción cuando se presenta escasez de mezcla. En esta ventana la responsable de la producción debe ingresar la fecha de inicio del programa de producción, selecciona la mezcla que está escasa. En la lista derecha aparecen las órdenes que requieren la mezcla de caucho seleccionada anteriormente y no han sido programadas y el usuario selecciona las órdenes que va a programar. Luego, selecciona un criterio de programación y si el requerimiento total de mezcla de caucho no sobrepasa la cantidad de mezcla disponible, el aplicativo genera un programa de producción para las órdenes de producción seleccionadas.

4.7 Módulo de re-reprogramación

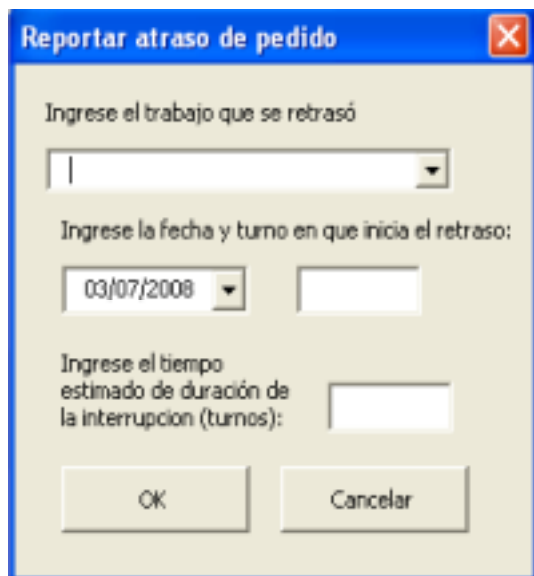
El módulo de re-programación se encarga de modificar el programa de producción establecido en respuesta a los eventos inesperados que puedan presentarse. Los eventos inesperados pueden ser: avería o mantenimiento de prensa o inyectora y retraso de trabajo. En la Gráfica 11 se muestra la ventana para registrar el daño en la(s) prensas o inyectoras. El usuario debe ingresar el día en el que se presenta el daño o mantenimiento, la duración estimada del mismo, la máquina donde se presenta y la política de re-programación. En caso que se el trabajo el que deba ser aplazado, el usuario ingresa la orden de producción que debe ser aplazada, la fecha de inicio y de la duración estimada de la interrupción. La Gráfica 12

muestra la ventana para ingresar esta información.

En el aplicativo se implementan dos políticas de re-programación: correr a la derecha y re-programación parcial. La Gráfica 12 muestra al lado izquierdo la política de correr a la derecha y al lado derecho la re-programación parcial.



Gráfica 11: Ventana de ingreso de daño en una máquina

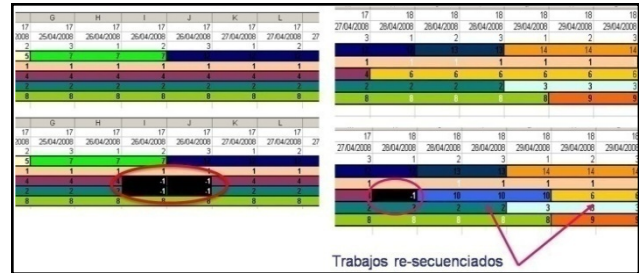


Gráfica 12: Ventana de ingreso de aplazamiento de orden de producción

En la primer política, se postergan, por tantos turnos como dure al interrupción, todos los trabajos asignados a la máquina que se re-programa. La política de re-programación parcial consiste en que en caso de presentarse una interrupción, aquellos trabajos que son afectados directamente por la misma y que no han iniciado su procesamiento, sean asignados en otras máquinas o en

un orden diferente. En caso que un trabajo se re-trase, se utilizará la política de correr a la derecha. En caso que una máquina se averíe o requiera mantenimiento, se puede elegir entre correr a la derecha o re-programación parcial. En este caso, algunos trabajos pueden procesarse en diferentes máquinas y la política de re-programación parcial obtiene buenos resultados.

Con el programa de producción modificado se actualiza el consumo de mezclas de caucho y el



Gráfica 13: Políticas de re-programación.

inventario proyectado de producto terminado.

4.8 Cuadro comparativo de versiones

El aplicativo diseñado en este documento es una versión mejorada del aplicativo utilizado en investigaciones anteriores por Hernández y Mejía (2007) y Hernández, Zanello y Mejía (junio 2008). La última versión incluye funciones adicionales para programar y re-programar la producción, mayor capacidad de configuración y una mejor base de datos. La Tabla 2 muestra las funcionalidades incluidas en cada una de las versiones del aplicativo.

5 ESTUDIO DE CASO

El estudio de caso consistió en planear y programar la producción para dos inyectoras de caucho en el área de vulcanización y se llevó a cabo en julio de 2008. Las inyectoras fabrican 25 productos y cada uno es procesado solamente en una de las dos inyectoras, es decir que las inyectoras no se reemplazan la una a la otra. El objetivo del estudio es evaluar la efectividad de este aplicativo para reducir la tardanza total de los pedidos y el número de pedidos entregados tarde.

Durante el mes de estudio, el registro de pedidos, de inventario de materia prima y de producto terminando se llevó a cabo de manera paralela en el aplicativo propuesto y en el sistema de información que la empresa usa actualmente. Sin embargo, al momento de decidir cuánto producir y cómo secuenciarlo en las inyectoras, la encargada de producción se apoyó en el aplicativo.

Tabla 2: Comparación de versiones del aplicativo

	<i>Versión 1^a</i>	<i>Versión 2^b</i>	<i>Versión actual</i>
Lenguaje	Visual Basic 6.0 ® ®		Visual para aplicaciones
Almacenamiento de datos	Archivos de texto		Excel 2003
Restricción de capacidad instalada	Sí	Sí	Sí
Restricción de materia prima disponible	No	No	Sí
Reglas de despacho para programación de producción.	WSPT	WSPT, FIFO y ATC	SPT, LIFO, FIFO
Otros algoritmos de programación de producción.			Enfriamiento simulado y programación manual.
Políticas de Re-programación		Correr a la derecha	Correr a la derecha y programación parcial
Tiempo de congelamiento de secuencia	1 día	Configurable	
Máquinas	8 presas de vulcanización		Configurable

a: (Hernández & Mejía, 2007), *b:* (Hernández, Zanello, & Mejía, junio 2008)

El programa de producción fue generado a diario y se estableció un tiempo de congelamiento para el programa de producción de un día, es decir que cada mañana se programaba el turno de la tarde, de la noche y de la mañana del siguiente día y no se podía modificar. Así mismo, una vez una orden de producción había iniciado su proceso, no podría ser interrumpida para procesar otra orden. Para secuenciar los trabajos no se tuvo en cuenta la disponibilidad de mezclas y se asumió que cada semana las inyectoras estarían disponibles durante 18 turnos de 8 horas cada uno. En presencia de eventos inesperados, como escasez de mezcla o indisponibilidad de las inyectoras se contabilizó el número de turnos que las órdenes

debían ser aplazadas y la duración del aplazamiento.

5.1 Información de entrada

Para iniciar el uso del aplicativo propuesto se incluyó la siguiente información: 1. parámetros de producción (tasa de producción, tipo y consumo de materia prima y la inyectora en la que se fabrica) de los 25 productos que se fabrican en las inyectoras, 2. pronósticos de ventas de los productos, calculados usando suavizamiento exponencial simple (Hernández & Mejía, 2007), 3. inventario inicial de productos terminados 4. inventario inicial de los 6 tipos de mezcla que se usan en los productos incluidos en el aplicativo y 5. número de turnos que tiene cada uno de los días.

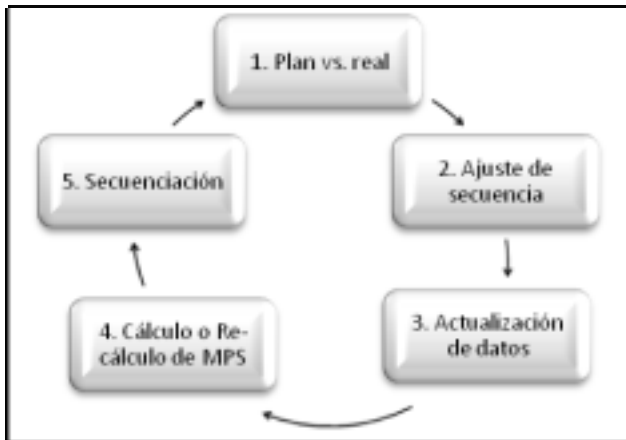
Al comienzo del estudio el nivel de inventario y de materia prima de los productos era bajo debido a que en la actualidad la empresa produce principalmente sobre pedidos. Las inyectoras se encontraban disponibles. Los pedidos que estaban vencidos y que debían ser procesados en alguna de las inyectoras fueron incluidos en el aplicativo con fecha de entrega del 1 de julio. La siguiente sección describe las tareas que ejecutó diariamente la responsable de la programación para usar el aplicativo.

5.2 Rutina de uso diario

En esta sección se describe la secuencia de actividades que debe realizarse a diario y que se resumen en la Gráfica 14. Cada mañana la responsable de la programación verificaba que el programa de producción propuesto se hubiera cumplido a cabalidad el día anterior. Si el programa de producción propuesto difería de lo realizado, se incluían los cambios pertinentes en el programa de producción propuesto por el aplicativo, estos eran: atrasar el pedido (en el caso de escasez de mezcla u otro inconveniente) o incluir el daño de máquina. Seguidamente, se actualizaba el nivel de inventario y la cantidad de Kg requeridos de mezcla. Luego, si había pedidos nuevos, éstos eran incluidos en el aplicativo. El plan maestro de producción se calculaba al inicio de cada semana con él se obtenían las can-

tidades a fabricar de cada producto. Algunas o todas las cantidades a producir propuestas eran confirmadas para generar órdenes de producción. Aquellas cantidades a producir que no eran confirmadas al inicio de la semana, podían ser modificadas y confirmadas en el transcurso de la misma.

Finalmente, las órdenes de producción eran secuenciadas de acuerdo con una regla de despacho o con enfriamiento simulado, según lo seleccionaba la responsable de la programación de la



producción.

Adicional a las actividades diarias antes descri-

Gráfica 14: Tarea diarias adaptado de (McKay & Wiers, 2003a)

tas, el responsable de ventas debió haber calculado el pronóstico de ventas mensuales.

5.3 Desarrollo del estudio

Durante las semanas en las que se desarrollaron las pruebas, semana de la 27 a la 31 de 2008, se recopiló información acerca de la demanda de los productos, el nivel de inventario, requerimientos de mezcla y requerimiento de capacidad. A continuación se presenta dicha información.

5.3.1 Comportamiento de la demanda

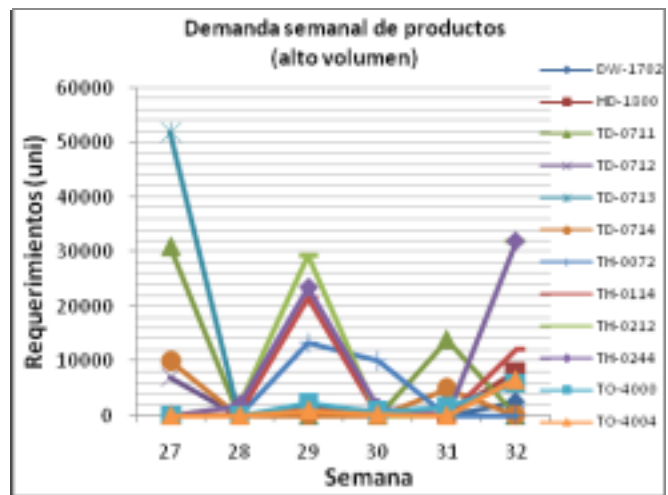
Durante el periodo de prueba llegaron 18 pedidos, que corresponden a 48 líneas de pedidos¹, que contenían algún producto incluido en el apli-

¹ Línea de pedidos: está definido como cada una de los las líneas que compone un pedido. Cada línea contiene la referencia o identificación de un producto y la cantidad solicitada del mismo.

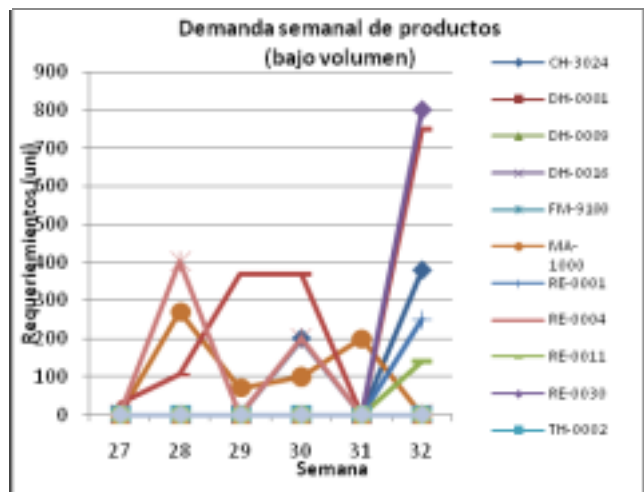
cativo. En la **¡Error! La autoreferencia al marcador no es válida.** se muestra detalladamente la información de cuántas líneas de pedidos debían ser entregados en cada semana. Algunos pedidos, con fecha de entrega de la semana 27, corresponden a pedidos vencidos.

Tabla 3: Número de pedidos para cada semana

Semana	Junio	27	28	29	30	Total
No. de pedidos	23	2	7	4	5	18
No. de líneas de pedidos	45	5	14	10	17	46



Gráfica 15: Demanda semanal de productos (alto volumen)



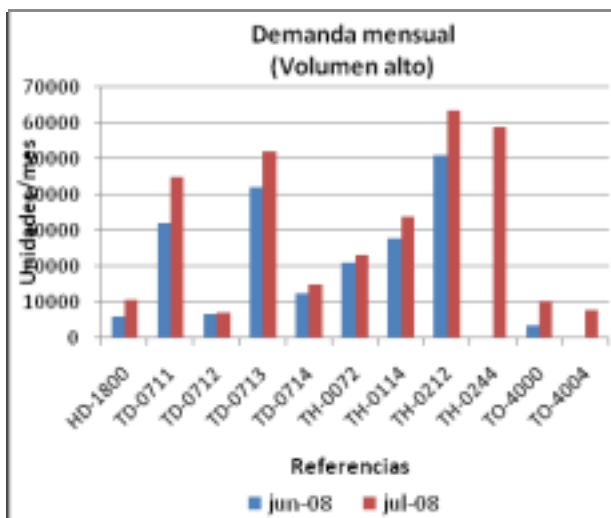
Las Gráficas 15 y 16 muestran la demanda semanal de cada producto, en cada una de las se-

Gráfica 16: Demanda semanal de productos (bajo volumen)

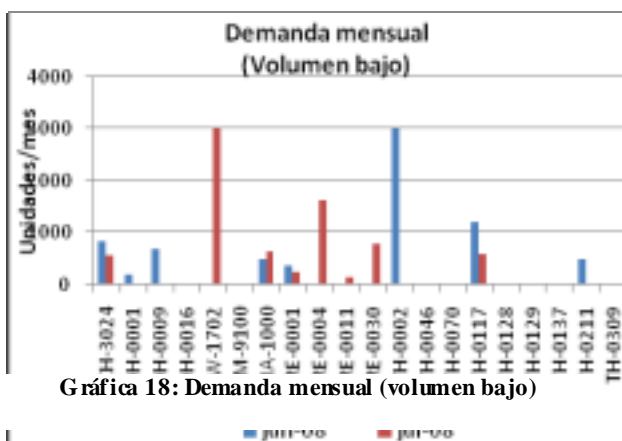
manas. Se puede ver que la demanda semanal de los productos no es estable son muy notorios los picos en la semana 27, 29 y 32. Los tres productos de mayor consumo, durante el mes de prueba, fueron: TH-0212, TH-0244 y el TD-0713; con un total de 63.500, 57.500 y 52.050 unidades solicitadas, respectivamente. Mientras que los de menor demanda fueron: el RE-0011, RE-0001 y CH-3024 con un total de 140,250 y 380 unidades solicitadas, respectivamente.

5.3.1.1 Demanda mensual

Las Gráficas 17 y 18 muestran que el comportamiento de la demanda durante el mes de junio y julio. Se observa que la demanda de los productos de alto volumen de consumo se comporta de manera similar en ambos meses. Por otro lado, la demanda de aquellos productos de bajo volumen de consumo es diferente de un mes a otro. Esta información fue utilizada para comparar el desempeño de la compañía antes y después de usar el aplicativo.



Gráfica 17: Demanda mensual (volumen alto)

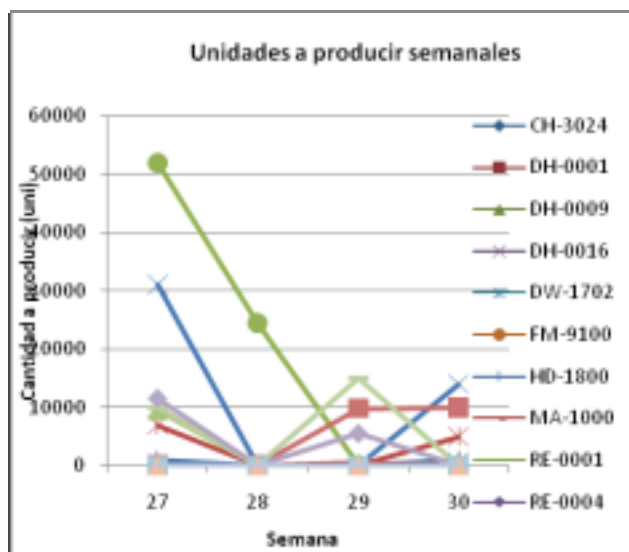


Gráfica 18: Demanda mensual (volumen bajo)

5.3.2 Cantidades a producir (MPS)

Con la información de los pedidos y teniendo en cuenta el inventario inicial se calculó, con la ayuda del aplicativo, la cantidad que debía producirse semana tras semana. Las cantidades eran confirmadas por la responsable de la programación de producción. La Gráfica 19 muestra las cantidades a producir que se confirmaron para cada producto. Se generaron 28 órdenes de producción durante el mes del estudio.

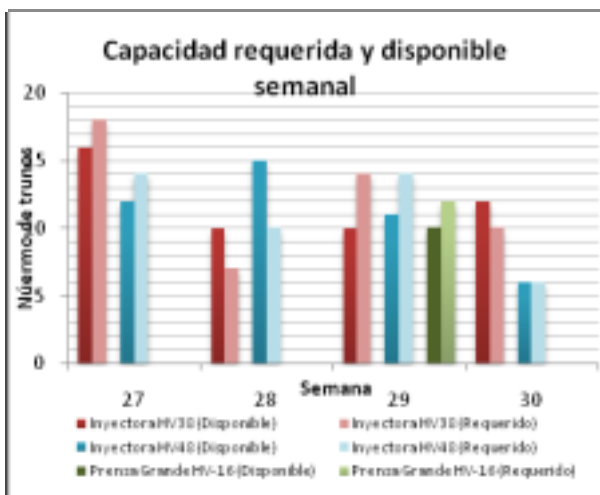
En general, se confirmó la cantidad a producir propuesta por el aplicativo que siempre correspondía a los requerimientos de los clientes. En consecuencia, la mayor parte de las órdenes estaban destinadas a completar un pedido(s) específico(s). La principal razón para seguir con esta política fue que se contaba con una cantidad limitada de Kg. de mezcla, de modo que, se prefería utilizar dicha cantidad para cumplir con pedidos y no para fabricar para inventario. Una de las mejoras que se espera con este aplicativo es que: así como se produce para cumplir pedidos también se fabriquen ciertos productos por anticipado, siguiendo los pronósticos de ventas, de modo que la entrega de pedidos sea más ágil y a tiempo y que la producción no fluctúe tanto como fluctúa la demanda. El análisis de requerimiento de materia prima y capacidad, que se generó a partir del plan maestro y se presenta a continuación.



Gráfica 19: Unidades producidas semanalmente

5.3.3 Necesidades de capacidad y requerimiento de materia prima (MRP y CRP)

Teniendo en cuenta las órdenes de producción se generaron programas de producción semanales para las dos inyectoras que se estudiaron. La Gráfica 20 muestra la capacidad disponible y requerida, medida en turnos. En cada semana se dispone de 18 turnos, sin embargo, la Gráfica muestra que en ninguna de las semanas las inyectoras estuvieron disponibles durante los 18 turnos. Así mismo, los turnos requeridos fueron menores a los disponibles en la semana 28, para ambas inyectoras y en la semana 30 para una de las inyectoras. Para las demás semanas, la capacidad requerida fue mayor a la disponible, generando atraso en los trabajos programados. Por otro lado, la Gráfica 21 resume de las principales razones por las que las inyectoras no estuvieron disponibles. Durante el mes de estudio la principal causa fue el ausentismo de los empleados.



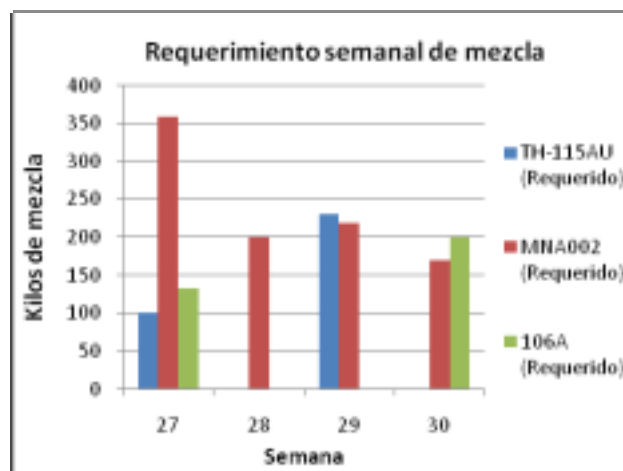
Gráfica 20: Capacidad requerida y disponible

Para el programa de producción generado por el aplicativo para cada semana se calculó la cantidad de Kg. de mezcla requerida para ejecutar con el programa de producción. La Gráfica 22 muestra que para las 23 órdenes de producción se requerían 3 tipos de mezcla. Adicionalmente, la cantidad requerida de mezcla fluctúa en cada una de las semanas. Así mismo, la mezcla con mayor requerimiento fue la MNA-002. Cada vez que se generaba o modificaba el programa de producción

La siguiente sección muestra los resultados obtenidos en cuanto a aplazamiento de órdenes de



Gráfica 21: Causas de no disponibilidad de inyectoras



producción y cumplimiento en la entrega de pedidos, entre otros resultados.

6 RESULTADOS

Durante el mes de pruebas, las órdenes de producción fueron secuenciadas asumiendo que se contaba con la materia prima y que las inyectoras estaban disponibles durante 18 turnos en cada semana. A medida que se presentaba escasez de material o daño en las máquinas se contabilizó el número de órdenes que fueron aplazadas y la duración total y promedio de los aplazamientos, La Tabla 4 muestra estos resultados. Se observó que el número de órdenes aplazadas a causa de la escasez de materia prima fue mayor que las aplazadas por indisponibilidad de máquina. Así mis-

mo, la duración de los aplazamientos también fue más prolongada, cuando el problema era escasez de materia prima.

6.1 Aplazamiento de órdenes de producción

En promedio el aplazamiento de las órdenes de producción fue de 4 turnos para cada orden, es decir algo más que 1 día por orden. Debido a que la empresa actualmente fabrica, mayoritariamente para completar pedidos, estos aplazamientos implicaban incumplimientos de las fechas de entrega de los pedidos.

Tabla 4: Número de órdenes aplazadas y la duración de los aplazamientos

Semana	27	28	29	30	Total	
Órdenes de producción totales	9	1	4	9	23	
Órdenes de producción aplazadas	Por escasez de materia prima	3	1	0	2	6
	Por indisponibilidad de máquina	1	0	2	0	3
	En total	4	1	2	2	9
Duración de aplazamiento (turnos)	Por escasez de materia prima	11	5	0	8	24
	Por indisponibilidad de máquina	4	0	9	0	13
	En total	15	5	9	8	37
Promedio de aplazamiento por orden (turnos)	3.8	5	9	4	4.1	

Los resultados obtenidos durante el mes de julio fueron comparados con los obtenidos en el mes de junio para evaluar la incidencia del uso del aplicativo sobre el aplazamiento de las órdenes de producción. La Tabla 5 muestra que el número de órdenes aplazadas disminuyó en un 5% durante el mes que se usó el aplicativo pero la duración promedio del aplazamiento fue mayor. De este modo, no se puede concluir que el aplicativo fue la causa principal de la disminución de órdenes de producción aplazadas o si se debió a otros factores como disponibilidad de materia prima o de las inyectoras.

Tabla 5: Comparación de número de órdenes de producción aplazadas y duración de aplazamiento

Semana	Junio 2008	Julio 2008	Diferencia porcentual
Órdenes de producción totales	27	23	
Órdenes totales de producción aplazadas	12	9	
Porcentaje de órdenes atrasadas	44%	39%	-5%
Duración total de aplazamiento (turnos)	41	37	
Promedio de aplazamiento por orden (turnos)	3.4	4.1	3.5%

6.2 Tardanza en líneas de pedido

En los casos en que una orden de producción estaba asociada a un pedido(s) específico(s), las órdenes de producción aplazadas conducían directamente a que algunos pedidos fueran entregados después de la fecha de entrega preestablecida. Calcular el número de pedidos tardíos y la tardanza de cada uno de ellos son medidas importantes porque evalúa las decisiones tomadas en la planta de producción a la luz del desempeño de la empresa en el mercado. Para calcular dichas medidas en el lugar de registrar el número de pedido y tardanza de cada uno, se registró el número de líneas de pedido que se entregaron tarde y la tardanza total en cada una de las semanas porque la empresa hizo entregas parciales de pedidos. La Tabla 6 resume estos resultados y muestra que durante el mes de prueba, en promedio el 47% de las líneas de pedidos fueron entregadas después de la fecha de entrega. Así mismo, la tardanza promedio fue de 1.6 días. Comparado con estos resultados con los obtenidos en junio se presentó un aumento en el número de líneas de pedidos entregadas tarde y una reducción en el promedio de la duración de la tardanza. Se puede suponer una relación entre la duración del aplazamiento de las órdenes de producción y la tardanza en la entrega de las líneas

de pedido, pero para confirmar la harían faltan un mayor número de datos.

Tabla 6: Tardanza total y Número de pedidos tardíos

<i>Semana</i>	<i>Jun. 2008</i>	<i>27</i>	<i>28</i>	<i>29</i>	<i>30</i>	<i>Total Jul.</i>
No. de líneas de pedidos	53	5	14	10	17	46
Líneas entregadas tarde (número de trabajos tardíos)	23	2	7	6	7	22
Porcentaje de líneas entregadas a tarde	43%	20%	50%	30%	41%	47%
Total de tardanza (días)	44	4	5	11	15	35
Tardanza promedio (días)	1.9	2	0.7	1.8	2.14	1.6

Otra medida que evalúa el cumplimiento de las entregas es el nivel de servicio tipo 2, que corresponde a la proporción de unidades totales requeridas que se cubrieron con existencias en bodega (vea Tabla 7). Esta es una medida de evaluación de la política de inventario de la compañía. Para el mes de pruebas se calculó en nivel de servicio para cada una de las referencias contenidas en el aplicativo y en promedio el nivel de servicio para estas referencias fue un 55%. Con respecto al nivel de servicio tipo 2 en el mes de junio se ve un aumento de 2%.

Finalmente, este estudio no tuvo en cuenta que las entregas parciales conllevan a sobrecostos de transporte para la compañía y a la insatisfacción de los clientes. Es decir que la empresa debería evitar estas prácticas.

Tabla 7: Servicio tipo 2

	<i>Jun. 2008</i>	<i>27</i>	<i>28</i>	<i>29</i>	<i>30</i>	<i>Total Jul.</i>
Proporción de unidades ordenadas cubiertas con inventario (Servicio tipo 2)	53%	45%	68%	52%	58%	55%

6.3 Utilización de módulos

Durante el mes de pruebas no se utilizó la totalidad de módulos en el aplicativo la principal razón fue que se ajustó el aplicativo a las prácticas actuales de la compañía.

A continuación se describen las funciones que se usaron de cada módulo durante las pruebas. El módulo de pronósticos calculó los pronósticos de ventas, pero éstos no fueron utilizados durante las pruebas porque la empresa actualmente no los utiliza. El módulo de inventario de mezclas fue usado para visualizar el consumo de mezclas en cada turno y no para verificar el inventario disponible de mezcla. En cuanto al módulo de programación de producción la encargada de la programación de producción prefirió utilizar reglas de despacho o programación manual debido a que las órdenes de producción fueron pocas y el funcionamiento de las reglas era más claro.

6.3.1 Mejoras adicionales

La implementación de los sistemas de soporte a la decisión en las plantas de producción generan, en algunas ocasiones, programas de producción que mejoren alguna función objetivo como tardanza total o número de trabajos tardíos. Adicionalmente, conllevan a mejoras en cuanto a la visualización de la información y la agilización de los procesos de planeación y programación de producción. Esta sección describe brevemente las mejoras obtenidas con el uso del aplicativo.

Cálculo automático de requerimiento de materia prima y duración de la orden de producción: antes del aplicativo, el cálculo del requerimiento de

materia prima no se llevaba a cabo de manera sistemática, era un conocimiento tácito. El aplicativo calculó la cantidad de materia prima requerida, en cada turno, para ejecutar la secuencia planeada y esta información sirve para hacer los requerimientos correspondientes de mezcla. Así mismo, el cálculo de la duración de la orden de producción se realizaba manualmente. Con el uso del aplicativo esta tarea es automática para cada nueva orden de producción, de manera que se reduce el tiempo que se invierte en esta tarea. *Visualización gráfica de la secuencia:* en la actualidad el registro de la secuencia se hace en una hoja de cálculo y se lleva a cabo de manera diaria, es decir, hoy se programa lo que se va a hacer en mañana. Con el uso del aplicativo los órdenes de producción pendientes se secuencian y se grafican en un diagrama de Gantt. De este modo, la encargada de la programación de producción pudo ver la ocupación de las inyectoras y pudo saber si contaba con suficiente tiempo para producir determinada orden y determinaba la holgura de la misma.

Comparación inventario estimado vs. inventario real: durante las pruebas, después de generar el programa para las órdenes de producción, se estimaba el nivel de inventario para cada turno, de acuerdo con la tasa de producción definida en el aplicativo. Al finalizar cada turno, cuando se registró la producción real y se comparaba con la estimada. A pesar que no es uno de los objetivos de la implementación de este tipo de aplicativos, la comparación de inventario sirvió para ajustar las tasas de producción definidas así como para evaluar la productividad de los operarios.

7 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Este documento presenta el diseño y los resultados de las pruebas de implementación de un aplicativo para la planeación y programación de la producción en una PYME del sector autopartista. El objetivo de la implementación era principalmente mejorar el cumplimiento en la entrega de pedidos de la compañía, medido en términos de número de trabajos tardíos y tardanza total.

También se esperaba mejorar el proceso de planeación y programación de la producción. De las características deseables en los DSS (McKay & Black, 1997) el aplicativo diseñado durante esta investigación cumple algunas de ellas. El aplicativo usa terminología conocida en la empresa, es fácil de configurar y realiza las tareas de programación de producción repetitivas. Igualmente el usuario puede seleccionar si quiere o no tener en cuenta la restricción de materia prima a la hora de programar la producción. El aplicativo ofrece varios algoritmos para programar la producción; de esta manera la jefe de plata y usuaria del aplicativo puede seleccionar el algoritmo que le parezca más conveniente. Durante el periodo de implementación se desarrolló una función para generar programas de producción manualmente. Así mismo, el aplicativo permite que el usuario modifique los programas de producción con una interfase gráfica, sin embargo el manejo de esta interfase puede ser mejorada en futuros desarrollos.

Gracias a las funcionalidades antes mencionadas el aplicativo facilita las siguientes tareas, que actualmente se realizan manualmente: i) el cálculo de los requerimientos totales de cada producto, ii) la definición de la cantidad a producir, iii) el cálculo de los tiempos de proceso estimado, iv) visualización gráfica del programa de producción y finalmente, v) tener una visión general de las consecuencias que tienen la escasez de materia prima y los daños en las prensa e inyectoras. Durante el mes que se usó el aplicativo el número de órdenes de producción aplazadas disminuyó en un 5%, pero la duración promedio de los aplazamientos de las órdenes de producción pasó de un 3.8 turnos en junio a 4.1 turnos en julio. En cuanto a las líneas de pedido el promedio de tardanza disminuyó de 1.9 días en junio a 1.6 días en julio y el número de líneas de pedido tardías disminuyó de 23 a 22 pero el porcentaje de órdenes entregas tardes aumentó de 43% en junio a 47% en julio. Las mejoras obtenidas durante la implementación son bajas comparadas con los resultados de las pruebas piloto realizadas en investigaciones anteriores (Hernández & Mejía, 2007) (Hernández, Zanello, & Mejía, junio 2008).

Para determinar si el aplicativo tiene incidencia en la mejora del funcionamiento de la compañía, se deben realizar evaluaciones de desempeño en los meses siguientes. Los primeros meses de uso del aplicativo la empresa pasa por un periodo en el que se debe cumplir con pedidos vencidos y nuevos e ir aumentando el inventario de tal manera que después de un periodo prudente la producción se estabilice y se fabrique tanto como para pedidos, como para inventario. En consecuencia se espera que después de este periodo los niveles de servicio y cumplimiento al cliente mejoren. Por esta razón, un seguimiento del uso del aplicativo y evaluación de las mejoras durante seis meses o un año sería deseable.

Adicionalmente, los cambios positivos y negativos que se presentaron en las variables de evaluación pueden ser causadas por factores exógenos del aplicativo como la disponibilidad de las prensas y de la materia prima. Durante el periodo de implementación y pruebas se presentaron daños en la maquinaria y/o moldes y escasez de materia prima. Así que para sacar mayor provecho del aplicativo y que se generen las mejoras sean sustanciales en cuanto a cumplimiento de pedidos es prioritario que la empresa implemente una política que garantice que cada semana se cuenta con suficiente materia prima para fabricar los productos necesarios y que garantice la disponibilidad y buen funcionamiento de las prensas e inyectoras de vulcanización.

Finalmente, en desarrollos posteriores este sistema puede incluir otros métodos para pronosticar las ventas, y programar la producción así como mejoras en la interfase gráfica. Este aplicativo puede ser implementado en empresas PYMES que tengan un sistema de producción y funcionamiento similar al de la empresa de este estudio.

8 BIBLIOGRAFÍA

Abumaizar, R., & Svestka, J. (1997). Rescheduling job shops under random disruptions. *Journal of Production Research*, 35 (7), 2065-2082.

Aytug H., Lawley, M., McKay, K., Mohan, S., & Uzsoy, R. (2005). Executing production schedules in the face of uncertainties: A review and some future directions. *European Journal of Operational Research*, 181, 86-110.

Azizoglu, M., & Alagoz, O. (2005). Parallel-machine rescheduling with machine disruptions. *IIE Transaction* 37: 1113-1118. , 37, 1113-1118.

Dowland, K., & Adenso, B. (s.f.). Recuperado el Noviembre de 2007, de <http://sci2s.ugr.es/docencia/algoritmica/Enfriamiento-simulado.pdf>

Enns, S. (2002). MRP performance effects due to forecast bias and demand uncertainty. *European Journal of Operational Research*, 138 (1), 87-102.

FUNDES. *La realidad de la PYME colombiana. Desafío para el desarrollo.*

Hall, J., Borden, R., & Grant, R. (1998). An optimizer for the Kankan sizing problem: a spreadsheet application for Whirlpool Corporation. *Production and inventory management journal*, 39, 17-22.

Hernández, A., & Mejía, G. (2007). Implementación de una herramienta computacional simple para la programación de la producción en Industrias Hernal S.A. *Tesis de pregrado*. Bogotá: Universidad de los Andes.

Hernández, A., Zanello, S., & Mejía, G. (Junio 2008). Computer Scheduling Application for an Auto Part Company in Colombia. *4th International Conference on Production Research – ICPR Americas’ 2008*. Sao Paulo, Brasil: Universidad de los Andes.

Huin, S. (2004). Managing deployment of ERP systems in SMEs using multi-agents. 22, 511-517.

IBERPyme. (mayo 2005.). Seminario Iberoamericano de micro, pequeña y mediana empresa. Reunión anual del programa IBERPyme.

Kima, D.-W., Kima, K.-H., Jangb, W., & Chenc, F. F. (2002). Unrelated parallel machine scheduling with setup times using simulated annealing. *Robotics and Computer Integrated Manufacturing*, 18, 223-231.

Leon, V., & Storer, R. (1994). Robustness measures and robust scheduling for job shops. *IIE Transactions* 26(5): 32-43. , 26 (5), 32-43.

- Mandal, P., & A., G. (2003). Issues in implementing ERP: A case study. *European Journal of Operational Research* 146: 274-283. *European Journal of Operational Research*, 146, 274-283.
- McKay, K., & Black, G. (1997). The evolution of a production planning system: A 10-year case study. *Computer in Industry*, 58, 756-771.
- McKay, K., & Buzacott, J. (2000). The application of computerized production control systems in job shop environments. *Computers in Industry* 42: 79-97. *Computers in Industry*, 42, 79-97.
- McKay, K., & Wiers, V. (2003a.). Integrated decision support for planning scheduling and dispatching task in a focus factory. *Computers in Industry*, 50, 5-14.
- McKay, K., & Wiers, V. (2003b.). Planning scheduling and dispatching tasks in production control. *Cogn Tech work*, 5, 82-93.
- McKay, K., Pinedo, M., & Webster, S. (2002). Practice-focused research issues for scheduling systems *Production and Operations Management*. *Production and Operations Management*, 11 (2), 249-258.
- Ministerio de Comercio, Industria y Turismo. Republica de Colombia. (2006). *Estadísticas Industriales*.
- Pinedo, M. (2002). *Scheduling: Theory, Algorithms, and Systems* (Segunda Edición ed.). Upper Saddle River, New Jersey: Prentice Hall.
- Proud, J. (1999). *Master Scheduling*. EE.EE: John Wiley & Sons Inc.
- Qi, X., Bard, J., & Yu, G. (2006). Disruption management for machine scheduling: the case of SPT schedules. *International Journal of Production Economics*, 103, 166-184.
- Salegna, G. (1998). Integrating the planning and scheduling systems in a job shop. *Production and Inventory Management Journal*, 37, 1-6.
- Segerstedt, A. (1996). Formulas of MRP. *International Journal of Production Economics*, 46-47, 127-136.
- Sridharan, S., Berry, W., & Udayabhanu, V. (1988). Measuring the Master Production Schedule stability under rolling planning horizons. *Decision Sciences*, 18 (1), 147-166.
- Stoop, P., & Wiers, V. (1996). The complexity of scheduling in practice. *International Journal of Operations & Production Management*, 16 (10), 37-53.
- Tang, O., & Grubbström, R. (2002). Planning and replanning the master production schedule under demand uncertainty. *Journal of Production Economics*, 78 (3), 323-334.
- Umble, E., Haft, R., & Umble, M. (2003). Enterprise resource planning Implementation procedures and critical success factors. *European Journal of Operational Research*, 146, 241-257.
- Vieira, G., Herrmann, J., & Lin, E. (2003). Rescheduling manufacturing systems: a framework of strategies, policies and methods. *Journal of scheduling*, 6, 39-62.
- Vollmann, Berry, & Whybark. (1997). *Manufacturing Planning and Control Systems*. New York: Irwin: McGraw-Hill.
- Wiers, V., & Van Der Schaaf, T. (1997). A framework for decision support in production scheduling tasks. *Production planning and control*, 8, 533-544.
- Wu, S., Byeon, E., & Storer, R. (1999). A graph-theoretic decomposition of the job shop scheduling problem to achieve scheduling robustness. *Operational Research*, 47 (1), 113-124.