

**Centro Tecnológico de Desarrollo Regional
Facultad Regional San Rafael - Universidad Tecnológica Nacional
Los Reyunos, San Rafael, Mendoza, Argentina**

**UNA APROXIMACIÓN HEURÍSTICA DE ALTA PERFORMANCE PARA LA
RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS COMPLEJOS DE SCHEDULING EN
ENTORNOS JOBSHOP**

Mg. Ing. Blank, Daniel

*Lavalleja 1070 – 5000 Córdoba
dblank@qplusglobal.com*

RESUMEN

El artículo presenta una aproximación heurística y una metodología de operación para la solución del problema de scheduling en entornos jobshop complejos (más de 1000 órdenes de trabajo, alrededor de 20000 operaciones activas, más de 150 recursos, redes de tareas de cientos de operaciones, uso de recursos múltiples por operación, incidencias de tareas de mantenimiento, tareas de setup, trabajos de terceros, abastecimiento de insumos). El objetivo es plantear un esquema de resolución, para situaciones reales de piso de planta y escenarios de largo plazo, que permita tanto la obtención de una “buena” programación en tiempos de cálculo compatibles con las necesidades de re/programación diaria, como la realización de simulaciones rápidas para ajustes a parámetros de performance no especificados en la matriz de decisión del algoritmo de despacho. La metodología privilegia la capacidad de modelizar el problema en toda su complejidad, la facilidad de uso y velocidad de resolución de modo de obtener una solución adecuada a las necesidades prácticas de la programación, más que la obtención de la solución “óptima”. Para ello se plantea una jerarquización de parámetros de decisión de despacho que incluyen, entre otros, priorización de las órdenes de trabajo, asignación de multas y premios (contractuales o virtuales) por retrasos o adelantos, disminución de los tiempos de cambios de setup en los recursos, y minimización de las interrupciones de los trabajos. Dada la complejidad de las situaciones planteadas el sistema propone un conjunto de herramientas para los distintos horizontes de programación (piso de planta, corto, medio y largo plazo), con el objetivo de conceder máxima visibilidad al estado de la programación (y a las acciones posibles para agilizar la finalización de órdenes de trabajo críticas) y las simulaciones de escenarios a futuro. Se presentan resultados de casos reales de aplicación de la aproximación

Palabras Claves: Gestión de la Producción, Scheduling, Producción tipo JobShop, Programación Heurística

1. INTRODUCCIÓN

Si bien el tema de Programación de la Producción bajo Carga Finita (Scheduling) ha sido ampliamente tratado en la literatura académica [1,2,3,4], su utilización práctica en casos reales es muy limitada. Las mayores dificultades para la aplicación de estas herramientas surgen de la complejidad de los condicionantes de las situaciones reales, la dificultad de uso de las soluciones, el tiempo requerido para obtener una solución adecuada, y de la falta de relevancia de los resultados obtenidos para la gestión general de la empresa [2].

Es así que para que un sistema de programación de la producción sea considerado práctico a nivel industrial debe cumplir las siguientes condiciones:

- Incluir las características esenciales de las condiciones específicas del proceso de producción (modelado)
- Ser de utilidad real en el proceso de programación de piso de planta (programación de corto plazo)
- Servir de referencia para la programación de las necesidades de recursos e insumos y de la situación de la planta y las órdenes de trabajo (programación de mediano plazo)
- Proveer información relevante para las decisiones de presupuesto e inversión (programación de largo plazo)
- Proveer un entorno compatible con la visión y necesidades tanto de los niveles generales, de los programadores, y del personal operativo (sistema informático de resolución y soporte).

En este trabajo se presentan un esquema de modelado de entornos complejos de producción que permite incluir las características esenciales de los mismos, una aproximación heurística de alto rendimiento para la resolución de la programación, pautas sobre implicancias de la aproximación empleada (horizontes de programación) en la puesta en marcha de una implementación, y finalmente herramientas de soporte para la presentación de información para los distintos niveles de la empresa.

2. MODELADO

Las características relevantes de los distintos entornos de producción referidas a la programación a carga finita (scheduling) son extremadamente variables y de muy diferentes grados de complejidad dependiendo del tipo de estructura productiva. En particular el presente estudio está centrado en entornos definidos por:

- Producciones tipo JobShop de bajas a medianas series
- Gestión de los requerimientos por órdenes de trabajo (OTs)
- Estructuras de órdenes de trabajo mixtas tipo mecanizado-armado (fishbone) y red (network)
- Estructuras jerárquicas de tareas (segmentos, subsegmentos, operaciones)
- Redes complejas de tareas (cientos de operaciones por OT)
- Gran volumen operativo (cientos de OTs y decenas de miles de operaciones activas)
- Estructura compleja de recursos (centros de trabajo, máquinas, dispositivos auxiliares, personal)

2.1 Producción JobShop y el problema del scheduling

En producción tipo JobShop de bajas a medianas series de producción, cada OT responde a una estructura de tareas que proviene de una explosión multinivel de mecanizado/armado convencional (Bill of Materials + Operation Sheets) o de una red de tareas específica de la misma. Las distintas OTs compiten entre sí por el uso de los recursos, que son limitados en cantidad y disponibilidad temporal.

Es así que el principal desafío del scheduling es organizar la ejecución de las distintas tareas de modo de obtener una programación “adecuada” a las necesidades de la empresa. Intencionalmente utilizamos la palabra “adecuada” ya que consideramos que es más importante llegar a una solución factible y que responda a las necesidades de la gestión que tener una solución “óptima” en situaciones en las cuales es hasta complejo definir el criterio mismo de optimalidad.

2.2 Modelado de las Redes de Tareas

Como se indicó en el punto anterior las redes de tareas pueden responder a estructuras jerárquicas de proceso/armado o de redes complejas. Las de proceso/armado son características de procesos de fabricación, mientras que las redes complejas normalmente se generan en procesos de servicios. La diferencia principal es que estas últimas contemplan la posibilidad de división de caminos paralelos a partir de una operación (branching) (Figura 1), mientras que las de proceso/armado se modelizan por secuencia lineal de operaciones (“mecanizado” en términos generales) más agregación de componentes (“armado” como denominación general) (Figura 2).

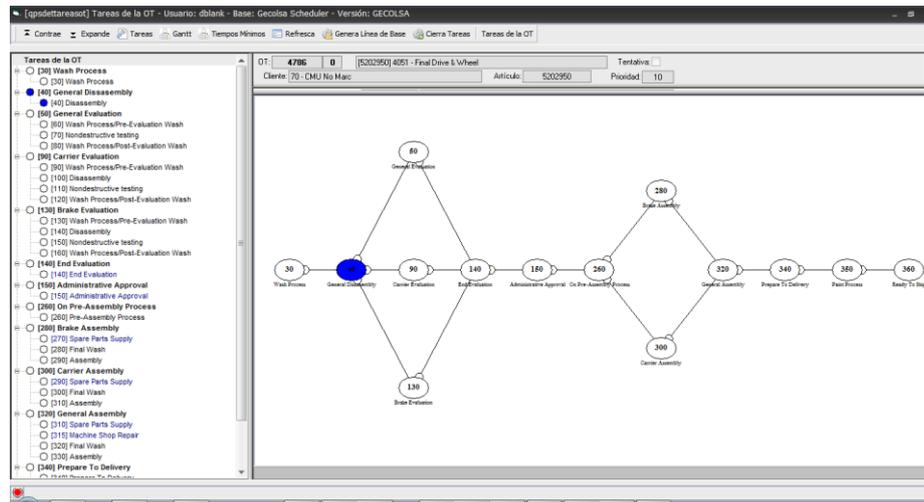


Figura 1 Estructura de red de tareas

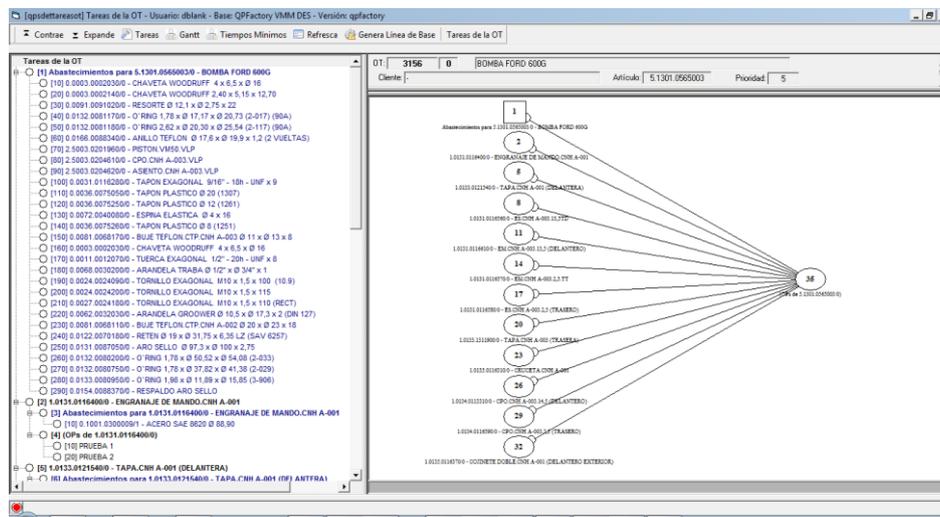


Figura 2 Estructura de mecanizado/armado

Como se mencionó anteriormente nos centraremos en entornos donde pueden presentarse ambos tipos de estructuras de tareas de forma simultánea. Estos entornos responden a las estructuras productivas de empresas que pueden tener un mix de productos estándar, desarrollos a medida, y provisión de servicios especializados.

Las redes estándar se modelizan ligadas al producto a fabricar o al servicio a brindar según el caso, de acuerdo a esto en el momento del lanzamiento de la OT puede ser necesario asignarle una red de tareas específica, si esta definición no es unívocamente dependiente del producto/servicio a proveer. Esta red de tareas inicial normalmente requiere ser modificada durante el proceso debido a cambios operativos o a la necesidad de realizar retrabajos.

En la práctica se verifica que la modelización de las redes de tareas debe contemplar la posibilidad de definir tareas comunes a varias OTs, precedencias y secuencias múltiples entre tareas/segmentos, y ejecución de operaciones con terminación parcial (en porcentaje o cantidad de piezas) de las precedentes.

2.3 Modelado de los Recursos

Para la caracterización de recursos se propone una estructura del tipo jerárquica con los siguientes niveles (Figura 3):

- Planta
- Sección
- Centro de Trabajo
- Recurso

Una Planta es una estructura productiva independiente con recursos propios. Las tareas deben poder involucrar operaciones en distintas plantas, en cuyo caso éstas operarán en modalidad cliente/proveedor entre ellas. Cada planta programa su producción en forma autónoma teniendo en consideración sus recursos y los requerimientos de sus clientes internos y de las otras plantas del entorno integrado.

Una Sección es una agrupación de recursos bajo una responsabilidad única. La especificación de secciones normalmente responde a una secuencia de etapas operativas donde una OT sólo puede estar en una sección a la vez.

Un Centro de Trabajo es un agrupamiento de recursos que cumplen funciones similares. Es el nivel más alto de la jerarquía donde se especifica la responsabilidad de ejecución de una operación. Cada centro puede ser definido en términos de su forma productiva ya sea por tiempos o por unidades físicas (kg/hora por ejemplo).

Un Recurso es todo ítem capaz de realización de una operación y con disponibilidad limitada (en cantidad y/o tiempo), puede tratarse de un equipo, un dispositivo (matriz, elemento de control,) o personal. Para cada recurso se debe poder configurar una productividad y una capacidad relativa al estándar del centro de trabajo. Asimismo se debe admitir la posibilidad de asignaciones de recursos a múltiples centros de trabajo y secuencias de preferencias entre ellos.

Un Proveedor es un recurso que ejecuta tareas externas (abastecimientos, trabajos de terceros). Puede tratarse de otra planta del entorno o de una entidad externa que comparte el uso del entorno (proveedores ligados), o de una relación de provisión convencional. De acuerdo a estas características la aproximación propone distintos modos de interacción con los mismos.

Cada uno de los niveles debe poder operar según un calendario (días laborables, turnos, horario de cada turno) diferenciado. Asimismo cada nivel debe poder configurarse con incidencias particulares a fin de responder a necesidades de mantenimiento o cambios temporales de los niveles de operación.

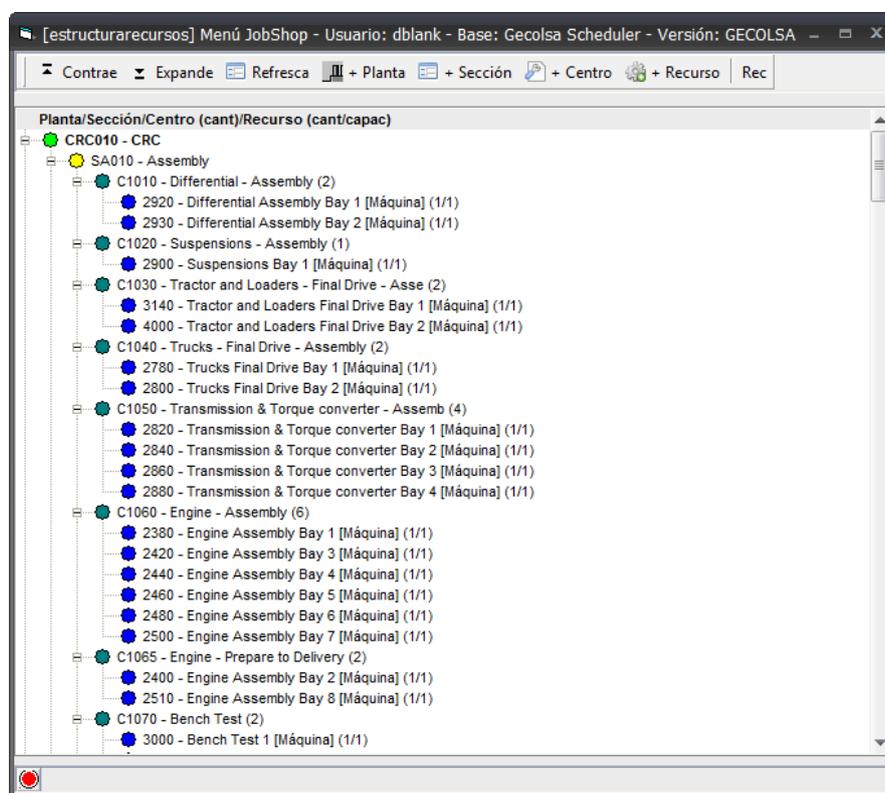


Figura 3 Estructura de Recursos

2.4 Modelado de las Operaciones

Las redes de tareas se modelan según una estructura jerárquica multinivel de segmentos (consolidaciones no operativas) y operaciones. Las operaciones puede ser internas o externas (abastecimientos, trabajos de terceros). Dependiendo del tipo de operación se definen distintos atributos para las mismas. Básicamente para las externas se especifica el lead time estándar y opcionalmente el proveedor que la ejecutará, mientras que para las internas se especifican las horas estándar de operación, y el tipo y tiempo de setup en caso de corresponder. Cada operación interna requiere como mínimo la especificación de un centro de trabajo principal para ejecutarla. Opcionalmente se puede especificar un recurso de ese centro de trabajo, ya sea como recurso de utilización preferida u obligatoria. Asimismo se pueden especificar recursos adicionales al principal (por ejemplo: junto con el recurso principal prensa se requiere una matriz y un operario) todos los cuales tienen que estar disponibles para la realización de la operación. Cada recurso tiene la posibilidad de utilizar recursos sustitutos (alternativos) dependiendo del tipo de operación a realizar. Dependiendo de las necesidades operativas es posible incluir características avanzadas de programación tales como módulos de liberación, utilización fraccionada de los recursos.

2.5 Modelado de las Órdenes de Trabajo

Las Órdenes de Trabajo constituyen la entidad central de la aproximación metodológica, tanto para una visión gerencial (costos, cumplimiento de compromisos) como operativa (utilización de recursos, cumplimiento de la programación). A los efectos de la programación interesan los siguientes atributos:

- Prioridad de la OT: normalmente asignada por el área comercial según evaluación puntual de la misma y del cliente
- Fecha Requerida: fecha comprometida de finalización ante el cliente. Normalmente asignada por decisiones comerciales/operativas
- Multa Unitaria y Diaria: valor a abonar (no necesariamente contractual) en caso de retraso en la entrega con respecto a la fecha requerida
- Premio Unitario y Diario: valor a recibir (no necesariamente contractual) en caso de adelanto en la entrega con respecto a la fecha requerida
- No Programar Antes Del: fecha mas temprana de inicio de la programación de la OT (permite generar demanda a futuro)

3. PROGRAMACIÓN

La programación utiliza los siguientes datos como insumos para la ejecución de cada ciclo de scheduling

- Calendarios para los distintos recursos
- Estructura de recursos disponibles
- Órdenes de trabajo activas
- Operaciones pendientes para las OTs activas (redes de tareas)
- Estado de piso de planta (tareas en ejecución)

El scheduling utiliza un algoritmo heurístico para el despacho de las operaciones que compiten con los recursos disponibles. La decisión de que tarea despachar está basada en la asignación de prioridades de ejecución a cada operación definidas por medio de un funcional que determina la secuencia de preferencia de las tareas individuales en cada recurso. Para ello se calcula en cada situación un valor de prioridad constituido por una polinomial de distintos factores (Ecuación 1):

$$P(t) = \sum a_{(i)} \cdot v_{(i,t)} \quad (1)$$

Donde $P(t)$ es el valor de la prioridad en un instante dado, $a_{(i)}$ el valor de ponderación de cada parámetro de la priorización y $v_{(i,t)}$ el valor de cada factor en ese momento.

Los parámetros de ponderación utilizados son:

Parámetros que dependen de la OT

- Prioridad de la OT (0-100 [+]): Pondera la prioridad asignada a la OT
- Multas unitarias + días de atraso (0-100 [+]): pondera las multas a incurrir por atraso de entrega de la OT
- Premio unitario + días de adelanto (0-100 [+]): Pondera los premios a obtener por adelanto de entrega de la OT
- Días de diferencia entre la fecha requerida y la corriente (0-1000 [-]): Pondera la diferencia en días entre la fecha del evento y la fecha prometida de entrega de la OT

Parámetros que dependen de la Operación

- Tiempo pendiente de Ejecución + Setup en hrs (0-10000 [-]): Pondera la duración de la operación dando mayor prioridad a las más cortas
- Diferencias de Setup en hrs (0-1000 [-]): Pondera con más prioridad a las operaciones que impliquen menor tiempo de cambio del entorno operativo del recurso (setup) de acuerdo a la tabla de tiempos de cambio de setup entre operaciones.
- Prioridad Local (0-100 [+]): Pondera la prioridad puntual de la tarea. Permite un control detallado de tareas específicas
- Continuidad de Tareas: Parámetro global con preferencia al resto. Permite mantener en un recurso principal una operación cuando la operación siguiente se realiza en el mismo centro de trabajo, independientemente de la prioridad relativa de otras operaciones en espera.

El signo [+] indica una relación directa entre el factor y la prioridad, el [-] una relación inversa.

3.1 Esquema de Programación

El algoritmo utiliza en forma estándar la programación temprana (ASAP) de las Órdenes de Trabajo, con el objetivo es ejecutar las operaciones lo mas temprano posible a fin tender a una utilización máxima de los recursos y dar lugar a la aparición de nuevas Órdenes de Trabajo. También acepta la utilización de Órdenes de Trabajo a futuro (denominadas "tentativas") para

proveer una carga estable de los recursos y evitar la subestimación de las necesidades a mediano/largo plazo que podría generarse considerando solo las OTs activas.

No obstante pueden existir situaciones en las que esta programación temprana no sea adecuada, por ejemplo: abastecimiento de insumos o trabajos de terceros que no se desean recibir antes de ser requeridos, tareas que no es conveniente que se realicen con demasiada antelación (un lavado de componente que podría estar en espera mucho tiempo antes de ser utilizado, etc.). Para estos casos la metodología permite parametrizar Centros de Trabajo/ Proveedores que operarán en modalidad de programación tardía (JIT). Adicionalmente es posible indicar la diferencia mínima (en horas para un Centro de Trabajo, en días para un Proveedor) que el sistema deberá dejar entre el fin de una Tarea y la primera de las siguientes. A las operaciones internas el sistema le adicionará el tiempo de tránsito entre centros, en caso de así estar especificado. Con estos datos se efectuarán ajustes post ejecución del Scheduler a fin de retrasar las tareas de los recursos que programan JIT (esquema mutifase).

Cada ejecución del Scheduler es una simulación que puede ser comparada con simulaciones y programaciones en firme anteriores. Una vez obtenida una situación “aceptable” ésta puede ser grabada como “en firme” para uso del seguimiento de piso de planta.

3.2 Ejecución del Scheduler

Como se indicó, el entorno de referencia está compuesto por cientos de OTs activas, decenas de miles de operaciones, centenas de recursos a ser programados. La recomendación estándar es programar diariamente (o por turno) para mantener consistencia con el estado siempre variable de la situación de piso de planta. Es por ello de extrema importancia que la velocidad de resolución del algoritmo sea compatible con estos condicionantes y con la posibilidad de generar varias simulaciones comparativas a fin de seleccionar la más adecuada.

3.2.1 Casos de Aplicación

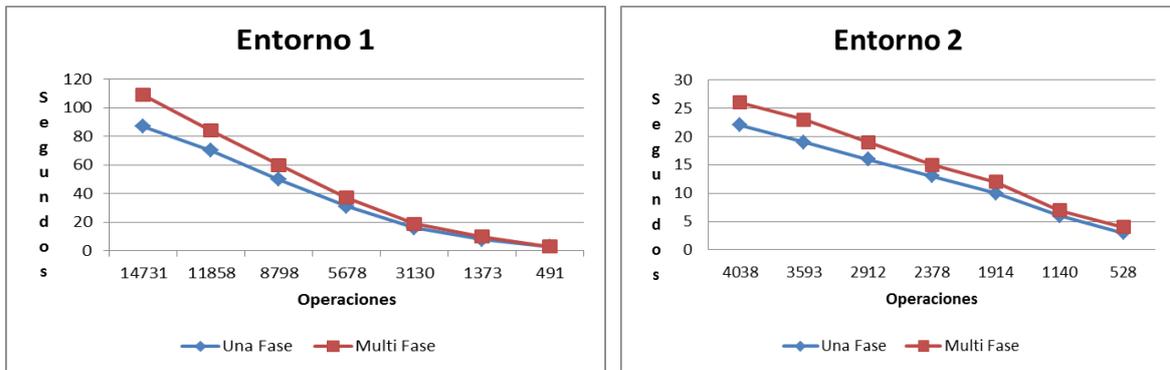
A continuación se muestra la performance del algoritmo para dos situaciones reales de empresas diferentes y distintas cantidades de OTs activas (Entornos 1 y 2), tanto en modalidad con y sin postprocesamiento JIT (Tablas 1 y 2, Figuras 4 y 5). Las programaciones se realizaron con fecha inicial de la programación al 18/09/2013 y se ejecutaron en una notebook HP dv6 con procesador AMD Turion II – Dual Core Mobile M500 2.20 GHz – 8 GB de RAM y sistema operativo Windows 7.

Tabla 1 - Entorno 1 – Alrededor de 1.000 OTs y 15.000 operaciones activas. 6 meses de programación a tiempo final – tiempos de programación en minutos

Caso	Operaciones	OTs	Fecha Final	MonoFase (min)	MultiFase (min)	Operaciones Prom*Seg
1	14731	974	20/03/2014	01:27	01:49	150
2	11858	726	18/01/2014	01:10	01:24	154
3	8798	610	01/01/2014	00:50	01:00	160
4	5678	458	13/12/2013	00:31	00:37	167
5	3130	292	05/12/2013	00:16	00:19	179
6	1373	98	26/11/2013	00:08	00:10	153
7	491	53	02/11/2013	00:03	00:03	164

Tabla 2 - Entorno 2 – Alrededor de 200 OTs y 4.000 operaciones activas. 1,5 meses de programación a tiempo final – tiempos de programación en minutos

Caso	Operaciones	OTs	Fecha Final	MonoFase (min)	MultiFase (min)	Operaciones Prom*Seg
1	4038	183	27/10/2013	00:22	00:26	168
2	3593	158	27/10/2013	00:19	00:23	171
3	2912	131	20/10/2013	00:16	00:19	166
4	2378	116	20/10/2013	00:13	00:15	170
5	1914	85	16/10/2013	00:10	00:12	174
6	1140	63	14/10/2013	00:06	00:07	175
7	528	30	14/10/2013	00:03	00:04	151



Figuras 4 y 5 Comparación de Tiempos de Proceso

Se comprueban tiempos de ejecución del scheduling por debajo de los 2 minutos aún para un número importante de operaciones activas.

Asimismo se verifica una alta linealidad con respecto al volumen procesado, lo cual permite inferir la posibilidad de escalar sin mayores dificultades en cantidad de operaciones/OTs a procesar.

En todos los casos la performance se mantiene estable por encima de las 150 operaciones procesadas por segundo.

3.3 Resultados de la Programación

Si bien el algoritmo implementado prevé la resolución de la programación a tiempo final (terminación de la última actividad de las OTs activas) los resultados a presentar, y la utilización de los mismos, dependen fundamentalmente del horizonte de programación a considerar:

Para el análisis consideraremos los siguientes escenarios

- Piso de Planta (1 - 3 días)
- Corto Plazo (3 días - 1 mes)
- Mediano Plazo (1 mes – 1 año)
- Largo Plazo (> 1 año)

A fin de tener una magnitud de la información involucrada analizamos la incidencia de las operaciones internas programadas para el caso 1 del entorno 1 presentado anteriormente (Tabla 3 y Figura 6).

Tabla 3 - Entorno 1 – Caso 1 – Distribución de operaciones internas programadas por horizonte de programación

Total	Internos ejecutables	En ejecución	No iniciados
14731	6404		
Piso de Planta	365	56	309
Corto Plazo	2991		
Mediano Plazo	3048		



Figura 6 Entorno 1 – Caso 1 – Distribución de operaciones internas programadas por horizonte de programación

Esta situación, en la cual las tareas de piso de planta son solo una pequeña fracción del total, es típica en este tipo de entornos productivos y para estos ciclos de producto (alrededor de un mes) nos permite definir la información y funcionalidad requerida del scheduler para cada escenario. Para distintos ciclos de producto se deberán redefinir los horizontes a considerar para el corto y mediano plazo.

3.3.1 Programación de Piso de Planta

Este escenario aplica a la programación y control diario (o de un turno) de las operaciones en ejecución.

Como se aprecia en la tabla y gráfico precedentes, para estos entornos productivos las operaciones involucradas son pocas comparadas con el total de las operaciones programadas. El algoritmo programa las tareas dando prioridad a las tareas en ejecución y luego a las restantes dependiendo de su prioridad compuesta (ver 3. PROGRAMACIÓN) y de la fecha de finalización de sus precedentes. La influencia de los parámetros de prioridad en este caso se manifiesta en cuales operaciones, de las posibles de ejecutar, son programadas para ejecución en el período y cuales son programadas para el corto plazo.

La metodología no prevé reprogramaciones del piso de planta en el día/turno, se asume que los cambios requeridos en el transcurso de su vigencia serán definidos y llevados a cabo a nivel de supervisión.

Para ello se proveen dos juegos de operaciones “ejecutables” (Figura 7). Uno comprende las tareas programadas para el período y el otro las “operaciones alternativas” definidas como aquellas que podrían ejecutarse por haber sido completadas sus precedentes, pero que están programadas (de acuerdo a su prioridad) para el corto plazo.

Esta información permite a los niveles de supervisión responder a cambios de prioridad, rotura de máquinas, fallas de materiales, reemplazando tareas programadas por alternativas sin necesidad de realizar una reprogramación completa.

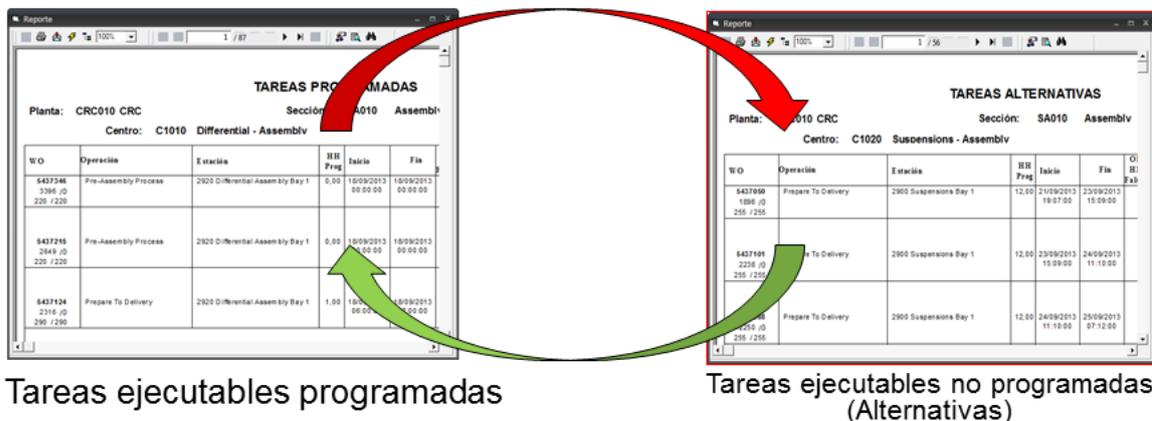


Figura 7 Ajuste de la programación de Piso de Planta

En la medida que el control de avance de la producción sea llevado a cabo correctamente y en tiempo real, la programación y control de piso de planta está marcado por el estado actual de las operaciones en ejecución y de ejecución inmediata, y puede ser gestionado con cierta independencia de los parámetros de priorización globales, si bien estos son los que determinan la propuesta de tareas a ejecutar en el período.

3.3.2 Programación de Corto Plazo

Este escenario aplica al período entre la ejecución actual y aproximadamente un mes (dependiendo del ciclo productivo de la empresa). En este período entran en consideración las necesidades de cumplimiento de las fechas de entrega, disponibilidades de recursos e insumos, prioridades y criticidades de las distintas OTs, etc. Es aquí donde se ponen en juego las capacidades de decisión del programador a efectos de obtener un plan de trabajos aceptable que balancee los distintos requerimientos.

Dada la cantidad de operaciones involucradas (decenas de miles) la propuesta metodológica está enfocada, en una primera instancia, a un análisis a nivel de las posibilidades de cumplimiento de las distintas OTs, más que al detalle específico de ejecución operativa. Para ello se presenta una pantalla con el estado de la programación de las OTs activas, conteniendo la información adecuada para que el programador tome decisiones sobre ajustes posibles a la programación.

Se muestran con colores relevantes las tareas atrasadas (fecha de fin programada > fecha requerida), las críticas (margen menor a 7 días), con margen (≥ 7 días). Asimismo se indica el margen disponible o el retraso previsto. Adicionalmente se provee información sobre las fechas programadas de inicio y fin de cada OT de acuerdo a las prioridades asignadas, y de las fechas más tempranas posibles (y del adelanto obtenible) si a esa OT se le asignara prioridad máxima (Figura 8).

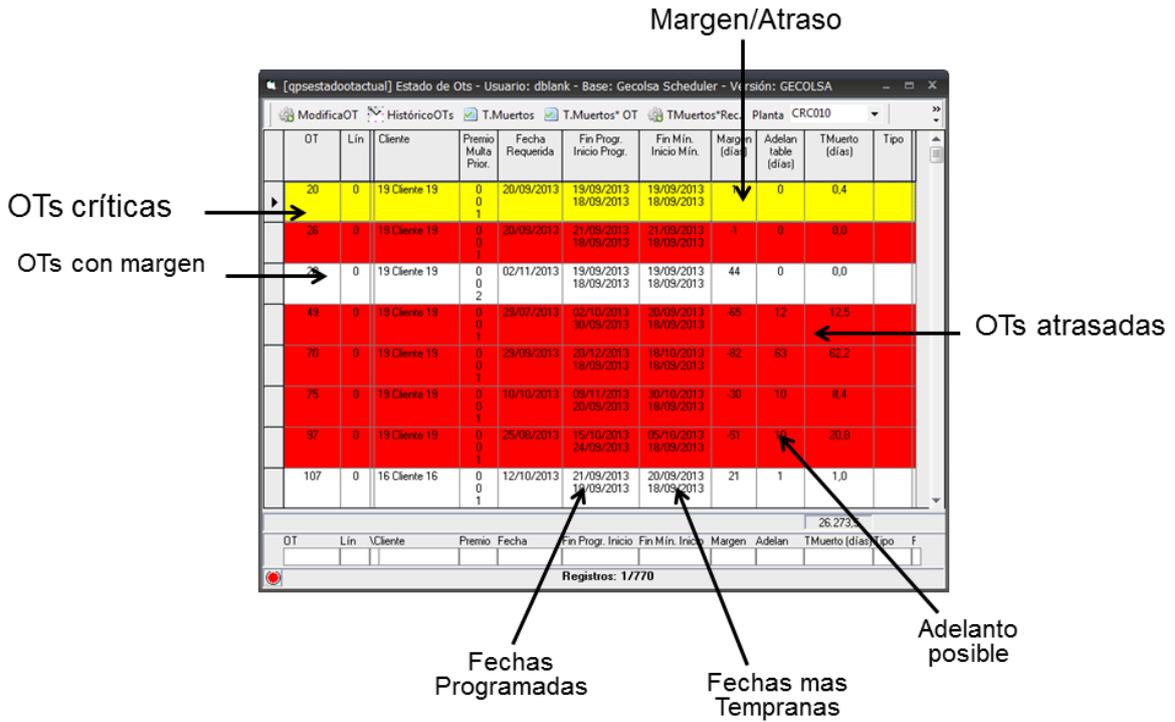


Figura 8 Información de estado de la programación de Corto Plazo

Esta información le permite al programador detectar sobre cuales OTs tiene sentido operar, y cual es el margen de modificación máximo esperable en cada caso. Es de destacar que en este tipo de procesos, sobre todo si existen abastecimientos o trabajos externos críticos, muchas de las órdenes no son factibles de ser adelantadas sin modificación de la ingeniería de las mismas (plazos de entrega de proveedores, agregado de sobre turnos). La información provista permite accionar eficientemente sobre las prioridades a fin de ajustarlas para obtener la programación mas adecuada a las restricciones existentes.

Además de este estado de situación por OT es útil contar con un detalle de la evolución de cada una de ellas a lo largo del tiempo (Figura 9), así como de la utilización de los distintos recursos disponibles (Figura 10).

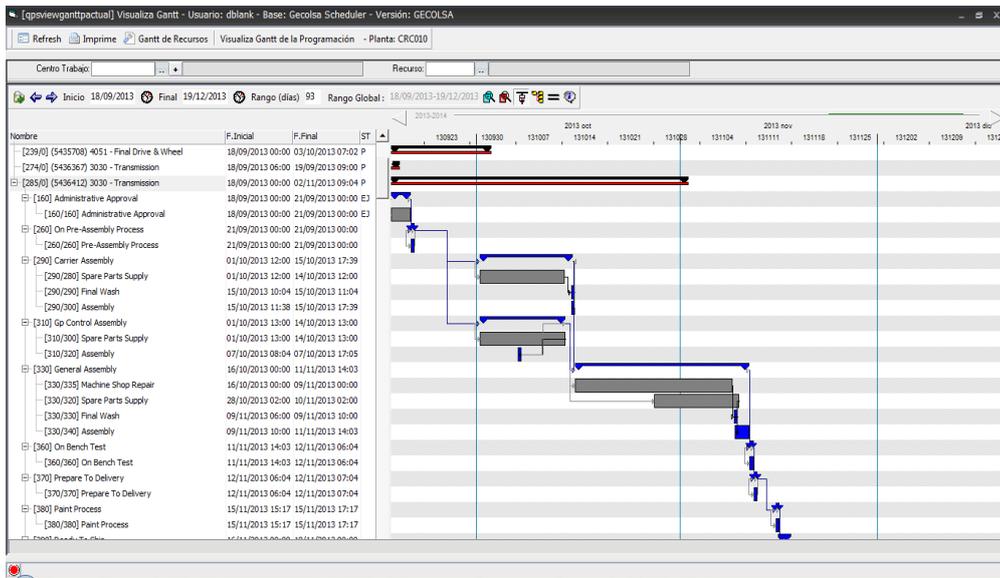


Figura 9 Gantt de Ejecución de OTs

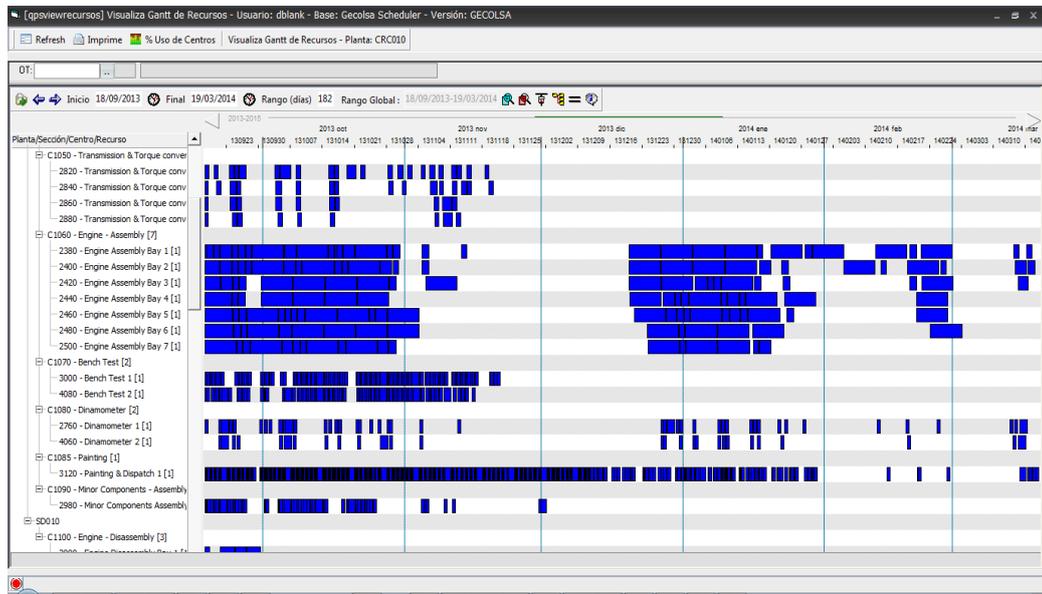


Figura 10 Gantt de Utilización de Recursos

Es de destacar que en la programación de Corto Plazo el objetivo fundamental es compatibilizar la ejecución de las distintas OTs, a fin de cumplir con la fechas comprometidas, ya sea cambiando las prioridades relativas de cada una, activando proveedores, programando cambios menores de recursos (sobretornos), o modificando fechas previstas de mantenimiento. Estos ajustes se realizarán en forma “independiente” de la programación de piso de planta en ejecución. En caso de requerirse cambios sobre ésta se comunicarán directamente a los niveles de supervisión.

3.3.3 Programación de Mediano Plazo

En este período el énfasis está puesto en la planificación del uso de los recursos y detección de cuellos de botella, entre otros puntos; es decir en aquellas restricciones que o impiden el cumplimiento de los compromisos o implican un uso poco eficiente de los recursos.

Para ello la información relevante, adicionalmente a la provista para el Corto Plazo, se relaciona con la utilización de los recursos y su impacto en el cumplimiento de los plazos de entrega de las OTs. La metodología propuesta plantea la ejecución de simulaciones offline (en un entorno específico) que permitan analizar el impacto de las distintas alternativas de planes de producción (modificando fechas prometidas, incluyendo OTs tentativas, cambiando prioridades), de distintos usos de los recursos (modificando calendarios, agregando o eliminando recursos) en los plazos de entrega obtenibles.

A continuación se muestran algunos ejemplos de la información que provee el scheduler a ese efecto (Figuras 11 y 12). Esta información permite trabajar sobre el balanceo de recursos, políticas de abastecimiento de insumos y trabajos de terceros, necesidades de desarrollo de proveedores o tercerización/internalización de tareas, aspectos financieros, ajustes de planes de venta.

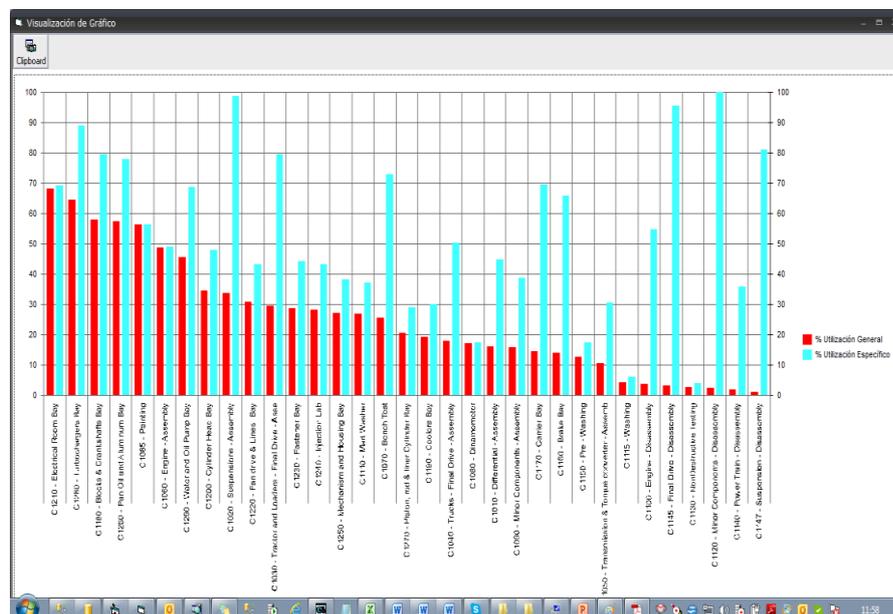


Figura 11 Utilización de Recursos (%)

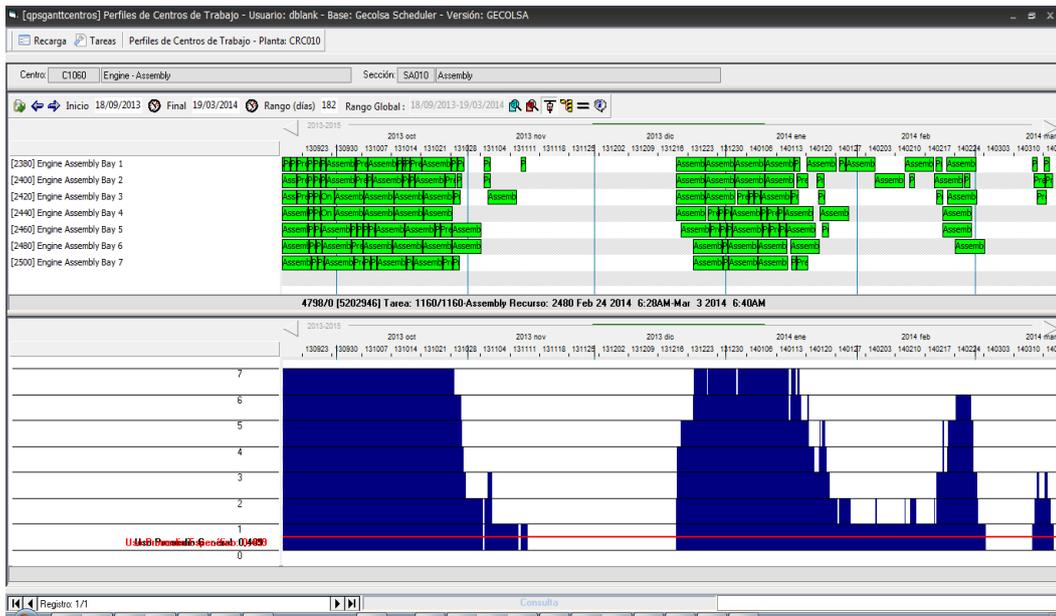


Figura 12 Perfil de Carga de un Centro de Trabajo

3.3.4 Programación de Largo Plazo

Utilizando la información y las herramientas del mediano plazo y agregando datos de demanda estimada (forecasting) el énfasis se ubica en el análisis de necesidades/oportunidades de inversión, simulación de escenarios de demanda, análisis de riesgos y rentabilidad.

Puesto que el algoritmo desarrollado no muestra problemas de performance debido al escalamiento, y que en este caso las necesidades de velocidad de procesamiento no son determinantes, la simulación de escenarios multianuales con distintas estimaciones de demanda es totalmente factible. En estos casos es previsible la necesidad de interacción con los sistemas administrativos/financieros de la empresa a fin de integrar la información operativa con la económico/financiera.

4. SEGUIMIENTO

Un punto crítico para la utilización efectiva de la programación a carga finita es la actualización de los estados de ejecución de las distintas tareas (ya sean internas como de terceros).

La propuesta metodológica se basa en una reprogramación “diaria” de las operaciones, lo que supone una actualización prácticamente en “tiempo real” del estado de las tareas en ejecución. Para ello es necesaria la puesta en marcha de un sistema de control de avance lo más cercano posible al punto de ejecución de las tareas internas y un riguroso sistema de seguimiento de las externas. De otro modo las programaciones arrojarán resultados incoherentes imposibilitando su utilización. Nunca es redundante insistir sobre este punto y sobre la necesidad de facilitar lo más posible la actualización del estado de las tareas (cargas por dispositivos móviles, utilización de códigos de barra, captura automática de información desde PLCs), para garantizar que el scheduler programe con un estado de piso de planta preciso y coherente.

A partir de esta realimentación continua de avances, se pueden obtener múltiples indicadores de cumplimiento de la programación (Figura 13), comparación de tiempos y recursos estándares contra ejecutados (Figura 14), evolución de costos, comparaciones entre programaciones.

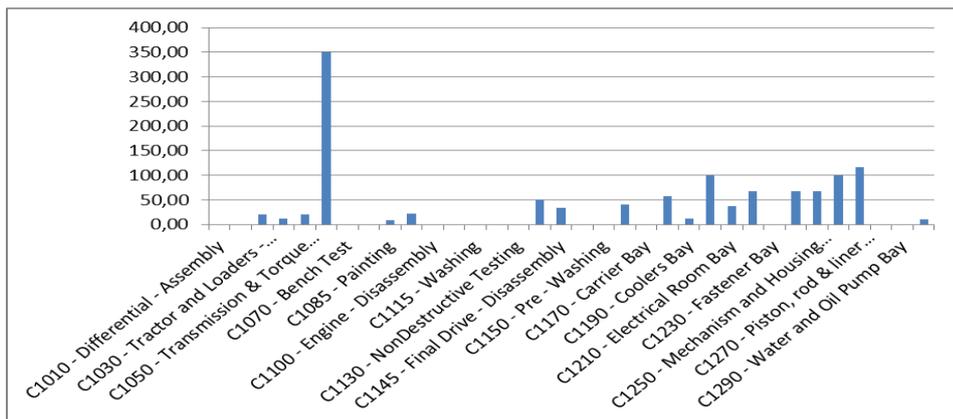


Figura 13 Cumplimiento por Centro de Trabajo

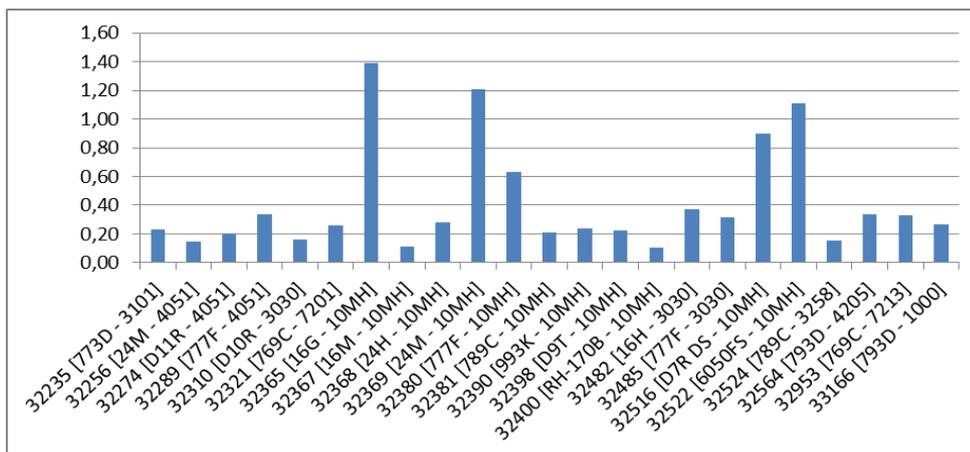


Figura 14 Eficiencia Hrs Estándar / Ejecutadas por OT

5. CONCLUSIONES.

La utilización de las técnicas de Programación a Carga Finita (Scheduling) ha presentado tradicionalmente enormes dificultades para su utilización práctica, identificándose como principales las siguientes:

- Uso de modelizaciones simplificadas que no reflejan consistentemente las características productivas de los procesos
- Programas informáticos complejos de utilizar o lentos en la resolución, que los hacen imprácticos para el uso diario
- Producción de información que no responde a las necesidades de las distintas áreas de la empresa (Comercial, Planificación, Programación, Producción, Finanzas, Dirección General)

Es por lo tanto pertinente la investigación en y el desarrollo de métodos y herramientas que permitan utilizar estas técnicas en situaciones reales de producción que excedan los casos de estudio académicos.

En este trabajo se ha presentado un algoritmo heurístico, apoyado por un sistema informático de gestión, que permite modelizar procesos complejos, resolver eficientemente programaciones con gran número de operaciones, y proveer de información relevante a las necesidades de las distintas áreas en los diferentes horizontes de programación (Piso de Planta, Corto, Medio y Largo Plazo). Se presentaron resultados de implementaciones reales de empresas industriales, donde el sistema está operando como soporte de la programación operativa y planificación estratégica. A la fecha no hemos identificado, en las implementaciones realizadas, limitaciones en la modelización utilizada ni en la operación del sistema que impidan o dificulten su utilización.

6. REFERENCIAS.

- [1] Morton, Thomas E.; Pentico David W. (1993). *Heuristic Scheduling Systems*. New York. ISBN 0-471-57819-3. John Wiley and Sons. USA.
- [2] Romero Silva, Rodrigo. (2012). "Methodology for the identification of production environment and schedule constraints in the scheduling task of a manufacturing plant". *Tesis Doctoral*. Universidad de Navarra.
- [3] Kerr, Roger. (1991). *Knowledge-Based Manufacturing Management*. USA. ISBN 0-201-41622-0. Addison-Wesley Publishing Company. Singapore
- [4] Askin Ronald G., Standridge Charles R.(1993). *Modeling and Analysis of Manufacturing Systems*. USA. TS155.6.A78 John Wiley and Sons. Singapore