

# Utilización del modelo de transporte para la asignación de trabajos a máquinas considerando prioridades

Medina León, S. V.<sup>1</sup>, Raya Díaz, K.<sup>1</sup> y Contreras Orendain, M. R.<sup>1</sup>

*Recibido: 8 de febrero de 2007 – Aceptado: 20 de junio de 2007*

## RESUMEN

Este artículo describe un modelo de programación lineal diseñado en Excel para asignar trabajos a máquinas considerando prioridades especificadas por planeadores de una empresa manufacturera. El área de manufactura, en el cual se desarrolló este estudio, consistió en órdenes de trabajo de una sola operación, además se catalogó dentro del tipo de máquinas multipropósito, debido a que los trabajos requeridos pueden ser procesados en una o más máquinas alternativas. Las prioridades especificadas no estuvieron basadas en la velocidad de las máquinas; ya que ésta característica no fue significativa en éste caso, sino más bien en las características técnicas de la máquina que la hacen idónea para llevar a cabo un trabajo dado con calidad y con los menores ajustes. El modelo propuesto incrementó significativamente la eficiencia de la operación actual de asignación de trabajos a máquinas y también impactó en el análisis de requerimientos de capacidad mensual ya que estas operaciones anteriormente se llevaban a cabo de forma manual.

**Palabras clave:** Programación lineal, modelo de transporte, asignación de trabajos a máquinas.

## Transportation model use for job assignment to machines considering priorities

## ABSTRACT

This paper describes a model of linear programming designed in Excel for assigning jobs to machines considering priorities specified by planners of a manufacturing company. The manufacturing area, on which this study was developed, consisted of single operation job orders; in addition it was catalogued as the type of multipurpose machines, given that the required jobs could be processed on one or more alternative machines. The priorities were not based on machine speeds, which were not significant in this case, but in the technical characteristics of the machine that could carry out a given job with quality and minimal adjustments. The proposed model increased significantly the efficiency of the actual operation of assigning jobs to machines and also impacted on requirement analyses of monthly capacity; since those operations were carried out manually before.

**Keywords:** Lineal programming, transportation problem, assigning jobs to machines.

---

<sup>1</sup> Universidad Autónoma del Estado de Baja California, Facultad de Ingeniería, Mexicali, B.C., Mexico 21900.  
[vmedina@uabc.mx](mailto:vmedina@uabc.mx)

## **INTRODUCCIÓN**

La asignación de trabajos a máquinas es una operación que forma parte de la planeación y control de la producción de una empresa, consiste en definir en que máquinas se procesarán las órdenes requeridas por los clientes. Debido a que es una operación fundamental en una empresa, el tema ha llamado la atención a un gran número de investigadores, los cuales han hecho diversas aportaciones a este tema (Lee, 1983). No obstante el desarrollo de soluciones propuestas, muchas empresas de la localidad ignoran estos recursos llevando a cabo las operaciones en forma manual conllevando a la realización de éstas en forma ineficiente.

Al plantear un problema en investigación de operaciones, se tiene la opción de utilizar un modelo matemático o un modelo de simulación. Al utilizar un modelo matemático, éste puede ajustarse a un modelo común, por ejemplo de programación lineal, y resolverse en una forma conveniente mediante técnicas matemáticas (Taha, 1995). Debido a los avances en el desarrollo de herramientas de cómputo para la solución de problemas de investigación de operaciones, es cada vez más viable que se opte por utilizar un modelo matemático en aplicaciones reales, inclusive cuando éstas manejan una gran cantidad de variables como es el caso bajo estudio.

Las condiciones del problema planteado por la empresa, se ajustaron perfectamente a un problema de transporte por lo que se optó por utilizar un modelo matemático. El problema de transporte es un tipo especial de problema de programación lineal; se conoce como de transporte porque muchas de sus aplicaciones se refieren a determinar la forma óptima de transportar bienes aunque tiene muchas otras aplicaciones que no tienen nada que ver con el transporte como es el caso de la programación de la producción (Hillier, 2006). En su forma general, el problema de transporte, consiste en determinar las rutas a utilizar y las cantidades a enviar de manera que resulte en un costo de transporte mínimo (teniendo nodos de origen con suministros y nodos destino con demandas y conociendo los costos de transporte entre cada uno de los puntos de origen y destino) (Anderson, 1999).

Con ayuda de la computadora, los modelos matemáticos pueden resolverse utilizando una hoja de cálculo o un software matemático especial. Hojas de cálculo, como Excel, son ampliamente utilizadas en los negocios y en las empresas ya que son paquetes de oficina. Estas hojas de cálculo tienen incorporadas herramientas de optimización lo cual facilita la solución de problemas de investigación de

operaciones sin necesidad de adquirir un software especial. No obstante, cuando el problema es extremadamente grande se recomienda utilizar paquetes de programación matemáticos especializados como el de Lindo (Ragsdale, 2007). Para el caso bajo estudio se recomendó utilizar Premium Solver de Excel ya que éste tiene la capacidad de manejar el número de variables requeridas y de esta manera la empresa evitó el gasto de adquirir un software especializado.

Para solucionar problemas de programación lineal, Premium Solver de Excel utiliza un algoritmo eficiente, basado en el método simplex, el cual reduce el tiempo de procesamiento (Ragsdale, 2007). El método simplex fue desarrollado por George B. Dantzig en 1947; no obstante para poder solucionar problemas grandes utilizando la computadora, se han llevado a cabo variaciones al método con la finalidad de reducir el tiempo de procesamiento y de esta forma incrementar la eficiencia de la herramienta (Carter, 2001).

Una de las condiciones del problema bajo estudio es que las máquinas son multipropósito debido a que los trabajos pueden ser fabricados en varias máquinas alternativas y el tiempo de procesamiento es el mismo en todas las máquinas. El término máquinas multipropósito fue introducido por Brucker y Schile en 1990 (Brucker, 1990).

Tomando en cuenta que en la práctica la actividad de asignar ordenes a las máquinas se llevaba a cabo manualmente, se desarrolló una herramienta eficiente y fácil de utilizar para asignar los trabajos a las máquinas de manera que se consideren prioridades definidas por la administración.

## **METODOLOGÍA**

La metodología utilizada para llevar a cabo el análisis y solución del problema se basó en las fases de estudio presentadas por Handy A. Taha en su libro "Investigación de Operaciones" (Taha, 1995). La fase 1, se refiere a la definición del problema, la fase 2 a la construcción del modelo, la fase 3 a la solución por el modelo, la fase 4 a la validación del modelo y la fase 5 a la implantación de la solución.

### **Fase 1. Definición del problema**

Esta fase se dividió en 5 puntos. En el punto 1 se realizó un estudio del proceso de planeación al inicio del proyecto con el objeto de identificar un área de oportunidad de mejora. Es importante mencionar que el objetivo inicial de la empresa bajo estudio era un poco difuso, ya que solicitaba mejorar el proceso de planeación llevado a cabo por ingenieros planeadores

de una de las áreas pero no tenían una idea específica de como mejorar por lo que se determinó llevar a cabo un estudio del proceso de planeación en forma general. En el punto 2 se identificó el problema u oportunidad de mejora. En el punto 3 se listó una serie de puntos a considerar en la propuesta de solución. En el punto 4, se presentó la propuesta de solución en forma general y finalmente el punto 5 definió el problema desde el enfoque de investigación de operaciones. A continuación se desarrollan los puntos mencionados:

### **1.1 Estudio del proceso**

El estudio se desarrolló en una empresa fabricante de productos médicos de la localidad, en el departamento de fabricación de componentes de plástico. Este departamento esta conformado por máquinas de extrusión de plástico. El producto de estas máquinas son mangueras de diferentes diámetros y longitudes utilizadas en procedimientos médicos. Al terminar de fabricar los componentes estos son enviados a clientes internos, líneas de ensamble dentro de la misma planta que forman paquetes médicos, o a clientes externos, ubicados en una locación externa a la planta.

Una orden de trabajo en este departamento requiere visitar una sola máquina para ser procesada. Las órdenes de trabajo también pueden ser procesadas en máquinas alternativas. Un componente o trabajo puede ser fabricado en una máquina siempre y cuando la máquina es aprobada para fabricar ese componente. Una máquina se dice que es aprobada para fabricar un componente cuando después de llevarse a cabo pruebas y corridas piloto, se comprueba que la máquina es capaz de producir el componente y mantenerlo dentro de las tolerancias de calidad. Los resultados de las pruebas dependen de las características técnicas y funcionales de las máquinas, por lo que no todas las máquinas son aprobadas para todos los componentes. El departamento de Ingeniería de Procesos es el encargado de llevar a cabo las pruebas y la información resultante es transmitida al planeador de la producción del área bajo estudio.

Cada componente tiene un grupo diferente de máquinas aprobadas; aunque un trabajo puede ser procesado en más de una máquina, la prioridad de cada una de ellas no se considera por igual, ya que una se considera como máquina principal mientras que las demás se consideran como máquinas secundarias. Es importante mencionar que las prioridades definidas no están basadas en las velocidades de las máquinas ya que se considera que la diferencia de velocidades entre máquinas es insignificante. La máquina principal es definida como

la máquina aprobada idónea para un trabajo, debido a sus características técnicas y funcionales, la cual permite la elaboración del componente sin mayores problemas de calidad y con los menores ajustes. Las máquinas alternativas son máquinas aprobadas para fabricar un componente dado pero no son la mejor opción en base a los ajustes necesarios de la máquina y la calidad del trabajo. La mejor opción para un trabajo es ser asignado a su máquina principal, mientras ésta tenga tiempo disponible. Si el trabajo no puede ser procesado en una máquina, se utilizan dos o las máquinas aprobadas que sean necesarias para cumplir con el trabajo.

Actualmente la empresa utiliza un sistema para la Planeación de Recursos de Manufactura (MRP II). La información a ser analizada por los planeadores se obtiene directamente de este sistema. Desafortunadamente el sistema MRP II es considerado insuficiente debido a que no considera restricciones específicas requeridas por los planeadores. Como resultado, el sistema MRP II es parcialmente utilizado y no tiene el mantenimiento adecuado. Esto ocasiona que los planeadores utilicen hojas de cálculo para realizar sus operaciones de planeación como es el caso del cálculo de requerimientos de capacidad y asignación de trabajos a máquinas.

El plan de requerimientos de capacidad en la empresa se lleva a cabo mensualmente en una hoja de cálculo agrupando máquinas. Cabe mencionar que estos grupos no están definidos como familias de partes en sí, debido a que cada trabajo tiene diferente grupo de máquinas aprobadas. Esto ocasiona que los cálculos solo sean un promedio para ese grupo de máquinas.

El análisis de asignación de trabajos a máquinas requiere una cantidad de tiempo considerable. El planeador comenta que al recibir el Plan Maestro de Requerimientos de Producción, le toma en promedio un turno de 9 horas para terminar su análisis de requerimientos de capacidad y asignación de trabajos a máquinas.

### **1.2 Identificación del problema**

En base a la información recavada en el estudio del proceso se identificó como oportunidad de mejora el proceso de asignación de trabajos a máquinas ya que éste se llevaba a cabo de forma manual y consumía un tiempo considerable.

### **1.3 Consideraciones del problema**

En base al estudio y a las recomendaciones del personal de la empresa se listó una serie de puntos que la solución propuesta debería de cumplir para

satisfacer las necesidades de la empresa. Estos puntos son:

- Una orden de trabajo solamente requiere visitar una máquina para completar la orden.
- Cada componente puede ser fabricado en una o más máquinas en forma simultánea, siempre y cuando éstas estén aprobadas.
- La diferencia de tiempos de fabricación para un trabajo entre una máquina y otra no son representativos por lo que puede considerarse el mismo tiempo estándar para todas.
- Para cada uno de los componentes se tiene identificado una máquina principal y el resto de las máquinas aprobadas se les denomina secundarias.
- La información de interés es: en qué máquina(s) se realizará el trabajo y qué cantidad para cada una de ellas.
- El modelo deberá tratar de asignar primeramente el trabajo a la máquina principal. En caso de que la máquina principal no tenga tiempo disponible, entonces buscará asignar el tiempo a una máquina secundaria. En los casos en los que el trabajo no pueda asignarse en su totalidad a una máquina, ya sea principal o secundaria, pero aún tiene tiempo disponible dicha máquina, entonces se asignará solo el tiempo de trabajo posible y el tiempo remanente del trabajo se tratará de asignar en otras máquinas aprobadas.
- En los casos en los que no haya capacidad disponible en ninguna de las máquinas aprobadas, el tiempo del trabajo se asignará a su máquina principal.
- La operación de análisis se lleva a cabo mensualmente al recibir los requerimientos del plan maestro de producción por lo que no es necesario considerar en este estudio las fechas específicas de requerimientos.

#### **1.4 Propuesta de solución**

Debido a que el problema puede ajustarse a un modelo matemático y que el número de variables requeridas es menor que 2000, se determinó desarrollar una herramienta de decisión en Excel la cual utiliza la herramienta de Premium Solver para obtener el resultado.

#### **1.5 Definición del problema desde el enfoque de investigación de operaciones**

Desde el enfoque de investigación de operaciones el problema se define por objetivo, variables y restricciones. Para el problema bajo estudio sería:

- **Objetivo:** Asignar tiempos de trabajos a máquinas de manera que se maximice la fabricación de los trabajos en las máquinas principales.

- **Variables:** Tiempos de trabajos asignados a las máquinas para cada componente.
- **Restricciones:** Capacidad limitada de las máquinas y no asignar tiempos que excedan los tiempos de los trabajos requeridos.

#### **Fase 2. Construcción del modelo**

En base al análisis del caso de estudio se determinó desarrollar un modelo de programación lineal que asigne en forma óptima los trabajos a las máquinas, dando preferencia a las asignaciones de trabajos a máquinas principales, es decir, considerando las prioridades establecidas por la administración de la empresa, de manera que la información generada sirva para el análisis de requerimientos de capacidad.

El planteamiento presentado encaja perfectamente como un problema de transporte, haciendo un comparativo con el esquema general presentado en la introducción: los suministros son la capacidad de las máquinas, las demandas son los trabajos por realizar y los costos son las prioridades definidas por el personal administrativo.

El modelo de transporte queda de la siguiente forma:

*Función objetivo:*

$$\text{Max} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m c_{ij} X_{ij}$$

Donde:

$i$ : índice de trabajo, donde  $i = 1, 2, 3, \dots, n$

$j$ : índice de máquina, donde  $j = 1, 2, 3, \dots, m$

$X_{ij}$ : es el tiempo asignado del trabajo  $i$  a máquina  $j$ .

$c_{ij}$ : constante de nivel de prioridad del trabajo  $i$  a la máquina  $j$ .

Donde los valores que puede tomar  $c_{ij}$ , son:

$c_{ij} = 3$  : máquina principal.

$c_{ij} = 2$  : máquina secundaria.

$c_{ij} = 0$  : máquina no validada.

Sujeto a las siguientes restricciones:

**Restricción 1.** No exceder los tiempos de los trabajos requeridos o demandados.

$$\sum_{j=1}^m X_{ij} \leq R_i \quad \text{Para cada } i=1, 2, \dots, n$$

Donde:

$R_i$ : son los requerimientos de tiempo del trabajo  $i$ .

**Restricción 2.** No exceder la capacidad de la máquina.

$$\sum_{i=1}^n X_{ij} \leq P_j \quad \text{Para cada } j=1, 2, \dots, m$$

Donde:

$P_j$ : es la capacidad de la máquina  $j$ .

**Restricción 3. Números positivos.**

$$X_{ij} \geq 0 \text{ para todo } i \text{ y } j$$

El modelo de programación lineal se preparó en una hoja de cálculo de Excel y se utilizó la función

Premium Solver para obtener la solución. En la Figura 1 se presentan los campos y fórmulas utilizadas en Excel. Con la finalidad de mostrar claramente los campos, se redujo el número de máquinas y el número de trabajos que realmente se encuentran en la empresa bajo estudio.

|    | A                             | B            | C | D | E | F | G | M   | N            | O | P | Q | R | S             | T            | U                | V                                  | W                  | X     |
|----|-------------------------------|--------------|---|---|---|---|---|-----|--------------|---|---|---|---|---------------|--------------|------------------|------------------------------------|--------------------|-------|
| 1  | COMPANÍA MEDICI               |              |   |   |   |   |   |     |              |   |   |   |   |               |              |                  |                                    |                    |       |
| 2  |                               |              |   |   |   |   |   |     |              |   |   |   |   |               |              |                  |                                    |                    |       |
| 3  |                               |              |   |   |   |   |   |     |              |   |   |   |   |               |              |                  |                                    |                    |       |
| 4  |                               |              |   |   |   |   |   |     |              |   |   |   |   |               |              |                  |                                    |                    |       |
| 5  | Trabajos                      | 1            | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 1   | 2            | 3 | 4 | 5 | 6 | Suma asignado | <=           | Tiempo requerido | Suma (Prioridad x Tiempo Asignado) | Tiempo sin asignar |       |
| 6  | A                             |              |   | 3 |   |   | 2 |     |              |   |   |   |   | =SUM(M6:R6)   | <=           | 210.0            | =SUMPRODUCT(B6:G6,M6:R6)           | =U6-S6             |       |
| 7  | B                             | 2            | 2 |   | 2 | 3 |   |     |              |   |   |   |   | =SUM(M7:R7)   | <=           | 270.0            | =SUMPRODUCT(B7:G7,M7:R7)           | =U7-S7             |       |
| 8  | C                             |              | 3 | 2 |   | 2 | 2 |     |              |   |   |   |   | =SUM(M8:R8)   | <=           | 150.0            | =SUMPRODUCT(B8:G8,M8:R8)           | =U8-S8             |       |
| 9  | D                             |              |   |   | 3 |   | 2 |     |              |   |   |   |   | =SUM(M9:R9)   | <=           | 7.0              | =SUMPRODUCT(B9:G9,M9:R9)           | =U9-S9             |       |
| 10 | E                             |              | 2 |   | 2 |   | 3 |     |              |   |   |   |   | =SUM(M10:R10) | <=           | 2.4              | =SUMPRODUCT(B10:G10,M10:R10)       | =U10-S10           |       |
| 11 | F                             | 3            |   |   |   |   |   |     |              |   |   |   |   | =SUM(M11:R11) | <=           | 211.8            | =SUMPRODUCT(B11:G11,M11:R11)       | =U11-S11           |       |
| 12 | Tiempo asignado a máquina     | =SUM(M6:M11) |   |   |   |   |   | ... | =SUM(P6:P11) |   |   |   |   |               | =SUM(S6:S11) | =SUM(U6:U11)     | =SUM(V6:V11)                       | =SUM(W6:W11)       | TOTAL |
| 13 | <=                            | <=           |   |   |   |   |   | <=  | <=           |   |   |   |   |               | <=           |                  |                                    |                    |       |
| 14 | Tiempo Disponible por máquina | 100          |   |   |   |   |   | 100 | 100          |   |   |   |   |               | 100          |                  |                                    |                    |       |
| 15 | Tiempo remanente              | =M14-M12     |   |   |   |   |   | ... | =P14-P12     |   |   |   |   |               | ...          | Max              | =V12                               |                    |       |
| 16 | % de Utilización              | =M12/M14     |   |   |   |   |   | ... | =P12/P14     |   |   |   |   |               | ...          | Prioridades      |                                    |                    |       |
| 17 |                               |              |   |   |   |   |   |     |              |   |   |   |   |               |              |                  |                                    |                    |       |

**Figura. 1.** Campos y fórmulas utilizadas en la hoja de cálculo

**Nota:** El nombre de la compañía “Medici” no es real, sólo se utiliza con propósito visual.

Siguiendo la Figura 1, se presenta una descripción de los campos:

- Columna de “trabajos” (A) contiene los índices de identificación de los trabajos.
- Columnas de “prioridades” (B-G) es una tabla a llenar previamente por los planeadores para indicar las prioridades de los trabajos en cada una de las máquinas. Los significados de los números son los siguientes:  
Valor 3: Máquina principal  
Valor 2: Máquina secundaria  
Valor 0: Máquina no aprobada para producir el trabajo  $i$
- Columnas de “asignación de tiempos” (M-R) son los campos a llenar por la función Premium Solver.
- Columnas “suma asignado” “≤” “tiempo requerido” (S-U) incluyen la restricción uno, referente a los límites de los requerimientos de tiempo de los trabajos.
- Columna “suma (prioridad x tiempo asignado)” (V) calcula la suma de los productos de la tabla de prioridades por la tabla de tiempos asignados para cada trabajo. La suma total se tomará como la función objetivo.

- Columna “tiempo sin asignar” (W) contiene el tiempo no asignado por falta de capacidad en las máquinas autorizadas. Esta columna no se incluye directamente en el modelo de optimización pero se utiliza para asignar el tiempo remanente a la máquina principal utilizando una tabla adicional.
- Renglones “tiempo asignado a máquina” “≤” “tiempo disponible por máquina” (12-14) incluyen la restricción dos sobre los límites de capacidad de las máquinas.
- Renglones “tiempo remanente” y “% de utilización” (15-16) son campos auxiliares no utilizados en el modelo de optimización que muestran la utilización de las máquinas con respecto a la asignación hecha por la función Premium Solver.
- Campo “Max prioridades” (V15) contiene la función objetivo del modelo.

Los parámetros de Premium Solver fueron especificados como se presentan en la Figura 2. Además se especificó la no negatividad de las variables para cumplir con la restricción tres del modelo en el menú de opciones (Options).

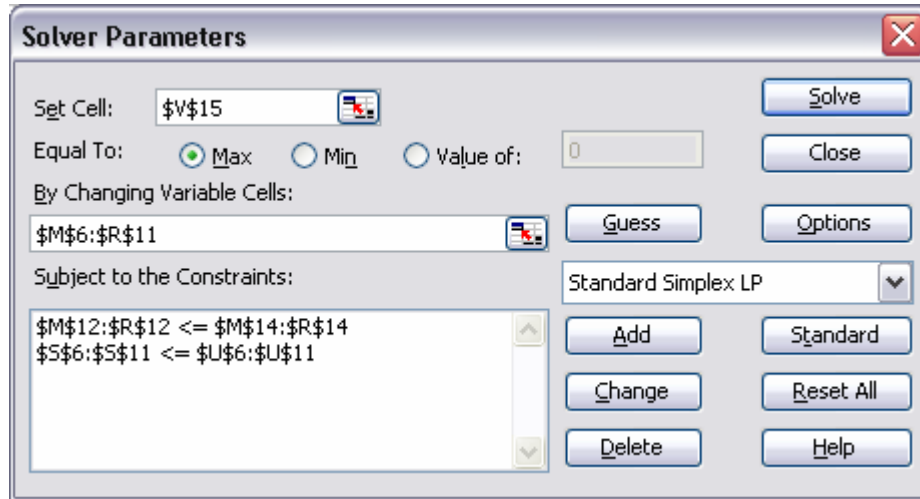


Figura. 2. Parámetros de Solver

Uno de los requerimientos especificados por la empresa es la de asignar el tiempo no asignado (columna W de Figura 1) a la máquina principal. Para cumplir con este requisito se agregó una tabla (columnas Y-AD de Figura 3), la cual realiza dicha adición. La fórmula especificada para el primer campo de la tabla sería: =IF(B6=3,M6+\$W6,M6) y se traduce de la siguiente manera: Si, para el trabajo A, la máquina 1 es la máquina principal (B6=3),

entonces sumar al dato determinado por Premium Solver (M6 de Figura 1), el tiempo sin asignar (W6 de Figura 1); sino dejar solo el valor determinado por Premium Solver (M6 de Figura 1). Esta fórmula es copiada al resto de los campos quedando como en la Figura 3. Dado que esta es la tabla final a utilizar por los planeadores, nuevamente se presenta el cálculo de utilización final por máquina: (tiempo asignado ÷ tiempo disponible) x 100. Ver renglón 16 de Figura 3.

|    | A                             | B           | C | D | E | F | G | Y                                                                    | Z   | AA  | AB                           | AC  | AD  |
|----|-------------------------------|-------------|---|---|---|---|---|----------------------------------------------------------------------|-----|-----|------------------------------|-----|-----|
| 1  | COMPañIA MEDICI               |             |   |   |   |   |   |                                                                      |     |     |                              |     |     |
| 2  |                               |             |   |   |   |   |   |                                                                      |     |     |                              |     |     |
| 3  |                               |             |   |   |   |   |   | Tabla final con tiempos sin asignar<br>asignados a máquina principal |     |     |                              |     |     |
| 4  |                               | Prioridades |   |   |   |   |   |                                                                      |     |     |                              |     |     |
| 5  | Trabajos                      | 1           | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 1                                                                    | 2   | 3   | 4                            | 5   | 6   |
| 6  | A                             |             |   | 3 |   |   | 2 | =IF(B6=3,M6+\$W6,M6) ...                                             |     |     | =IF(E6=3,P6+\$W6,P6) ...     |     |     |
| 7  | B                             |             | 2 |   |   | 2 | 3 | =IF(B7=3,M7+\$W7,M7) ...                                             |     |     | =IF(E7=3,P7+\$W7,P7) ...     |     |     |
| 8  | C                             |             |   | 3 | 2 |   | 2 | =IF(B8=3,M8+\$W8,M8) ...                                             |     |     | =IF(E8=3,P8+\$W8,P8) ...     |     |     |
| 9  | D                             |             |   |   |   | 3 |   | =IF(B9=3,M9+\$W9,M9) ...                                             |     |     | =IF(E9=3,P9+\$W9,P9) ...     |     |     |
| 10 | E                             |             |   | 2 |   |   | 3 | =IF(B10=3,M10+\$W10,M10) ...                                         |     |     | =IF(E10=3,P10+\$W10,P10) ... |     |     |
| 11 | F                             |             | 3 |   |   |   |   | =IF(B11=3,M11+\$W11,M11) ...                                         |     |     | =IF(E11=3,P11+\$W11,P11) ... |     |     |
| 12 | Tiempo asignado a máquina     |             |   |   |   |   |   | =SUM(Y6:Y11)                                                         |     | ... | =SUM(AB6:AB11)               |     | ... |
| 13 | <=                            |             |   |   |   |   |   | <=                                                                   | <=  | <=  | <=                           | <=  | <=  |
| 14 | Tiempo Disponible por máquina |             |   |   |   |   |   | 100                                                                  | 100 | 100 | 100                          | 100 | 100 |
| 15 | Tiempo remanente              |             |   |   |   |   |   | =Y14-Y12                                                             |     | ... | =AB14-AB12                   |     | ... |
| 16 | % de Utilización              |             |   |   |   |   |   | =Y12/Y14                                                             |     | ... | =AB12/AB14                   |     | ... |

Figura. 3. Tabla con tiempos sin asignar, asignados a máquina principal

### Fase 3. Solución por el modelo

La herramienta Solver de Excel utiliza un algoritmo eficiente basado en el método simplex para resolver los problemas de programación lineal. Una limitación importante es que Solver solo soporta 200 variables como máximo en un modelo de optimización, esto significa que el modelo trabaja perfectamente con 5 máquinas y 40 trabajos ( $5 \times 40 = 200$ ) o cualquier otra combinación que el producto resulte menor que 200, pero no si se tiene 8 máquinas y 50 elementos ( $8 \times 50 = 400$ ) en donde el producto resulta mayor que 200.

Afortunadamente esta limitación se puede resolver utilizando Premium Solver, que no es más que el mismo Solver con más capacidad en el manejo de variables. Premium Solver puede manejar hasta 2000 variables (Fourer, 2007) lo cual es suficiente para la empresa bajo estudio ya que cuenta con 15 máquinas

y menos de 120 componentes a programar ( $15 \times 120 = 1800$ ). Cabe mencionar que el costo de Premium Solver no es significativo en comparación con un software especializado.

Debido a que los parámetros del sistema son conocidos con exactitud, es decir, la demanda del cliente y la disponibilidad de las máquinas se conocen al inicio de correr el modelo, no se consideró llevar a cabo un análisis de sensibilidad como parte de la solución (Taha, 1995).

### Fase 4. Validación del modelo

Se llevaron a cabo pruebas piloto con el modelo propuesto para asegurar que funcionará de la manera que esperaba el usuario. La Figura 4 presenta una prueba representativa en la que se visualiza la forma en la que el modelo toma las decisiones (las unidades de tiempo son en horas).

|    | A                             | B           | C | D | E | F | G | M                     | N     | O     | P     | Q     | R     | S                | T     | U                   | V                                           | W                        | X     |
|----|-------------------------------|-------------|---|---|---|---|---|-----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|------------------|-------|---------------------|---------------------------------------------|--------------------------|-------|
| 1  | COMPañIA MEDICI               |             |   |   |   |   |   |                       |       |       |       |       |       |                  |       |                     |                                             |                          |       |
| 2  |                               |             |   |   |   |   |   |                       |       |       |       |       |       |                  |       |                     |                                             |                          |       |
| 3  |                               |             |   |   |   |   |   | Asignación de tiempos |       |       |       |       |       |                  |       |                     |                                             |                          |       |
| 4  |                               | Prioridades |   |   |   |   |   | Máquinas              |       |       |       |       |       |                  |       |                     | Suma<br>(Prioridad x<br>Tiempo<br>Asignado) | Tiempo<br>sin<br>asignar |       |
| 5  | Trabajos                      | 1           | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 1                     | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     | Suma<br>asignado | <=    | Tiempo<br>requerido |                                             |                          |       |
| 6  | A                             |             |   | 3 |   |   | 2 |                       |       | 100.0 |       |       |       | 97.6             | 197.6 | <=                  | 210.0                                       | 495.20                   | 12.4  |
| 7  | B                             |             | 2 | 2 |   | 2 | 3 |                       |       |       | 93.0  | 100.0 |       | 193.0            | <=    | 270.0               | 486.00                                      | 77.0                     |       |
| 8  | C                             |             |   | 3 | 2 |   | 2 |                       | 100.0 |       |       |       |       | 100.0            | <=    | 150.0               | 300.00                                      | 50.0                     |       |
| 9  | D                             |             |   |   |   | 3 |   |                       |       |       | 7.0   |       |       | 7.0              | <=    | 7.0                 | 21.00                                       |                          |       |
| 10 | E                             |             |   | 2 |   | 2 | 3 |                       |       |       |       |       |       | 2.4              | 2.4   | <=                  | 2.4                                         | 7.20                     |       |
| 11 | F                             |             | 3 |   |   |   |   | 100.0                 |       |       |       |       |       | 100.0            | <=    | 211.8               | 300.00                                      | 111.8                    |       |
| 12 | Tiempo asignado a máquina     |             |   |   |   |   |   | 100.0                 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 600.0            |       | 851.2               | 1609.40                                     | 251.21                   | TOTAL |
| 13 | <=                            |             |   |   |   |   |   | <=                    | <=    | <=    | <=    | <=    | <=    |                  |       |                     |                                             |                          |       |
| 14 | Tiempo disponible por máquina |             |   |   |   |   |   | 100                   | 100   | 100   | 100   | 100   | 100   |                  |       |                     |                                             |                          |       |
| 15 | Tiempo remanente              |             |   |   |   |   |   | 0.0                   | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   |                  |       | Max                 | 1609.40                                     |                          |       |
| 16 | % de utilización              |             |   |   |   |   |   | 100%                  | 100%  | 100%  | 100%  | 100%  | 100%  |                  |       | Prioridades         |                                             |                          |       |
| 17 |                               |             |   |   |   |   |   |                       |       |       |       |       |       |                  |       |                     |                                             |                          |       |

Figura 4. Prueba con datos

Cómo puede observarse en la Figura 4, el trabajo A, requiere de 210 horas y su máquina principal es la 3 con una capacidad de 100 horas; por lo tanto el modelo asigna 100 horas a su máquina principal; 97.6 horas las asigna a una máquina secundaria con tiempo disponible y el resto se queda sin asignar pero queda registrado en la columna W para después ser agregado en la tabla final presentada en la Figura 5.

Se puede observar que la tabla final muestra que las 12.4 horas sin asignar del trabajo A, son asignadas a la máquina principal, en este caso la máquina 3, resultando un total de 112.4 horas requeridas para esta máquina. El resto de los trabajos son asignados de la misma forma, cumpliendo con las expectativas esperadas. La tabla final de la prueba representativa quedaría como se muestra en la Figura 5.

|    | A                             | B           | C | D | E | F | G | Y                                                                    | Z     | AA     | AB    | AC     | AD    |
|----|-------------------------------|-------------|---|---|---|---|---|----------------------------------------------------------------------|-------|--------|-------|--------|-------|
| 1  | COMPañIA MEDICI               |             |   |   |   |   |   |                                                                      |       |        |       |        |       |
| 2  |                               |             |   |   |   |   |   |                                                                      |       |        |       |        |       |
| 3  |                               |             |   |   |   |   |   | Tabla final con tiempos sin asignar<br>asignados a máquina principal |       |        |       |        |       |
| 4  |                               | Prioridades |   |   |   |   |   |                                                                      |       |        |       |        |       |
| 5  | Trabajos                      | 1           | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 1                                                                    | 2     | 3      | 4     | 5      | 6     |
| 6  | A                             |             |   | 3 |   |   | 2 |                                                                      |       | 112.40 |       |        | 97.60 |
| 7  | B                             | 2           | 2 |   | 2 | 3 |   |                                                                      |       |        | 93.00 | 177.00 |       |
| 8  | C                             |             | 3 | 2 |   | 2 | 2 |                                                                      | 150   |        |       |        |       |
| 9  | D                             |             |   |   | 3 |   | 2 |                                                                      |       |        | 7.00  |        |       |
| 10 | E                             |             | 2 |   | 2 |   | 3 |                                                                      |       |        |       |        | 2.40  |
| 11 | F                             | 3           |   |   |   |   |   | 211.81                                                               |       |        |       |        |       |
| 12 | Tiempo asignado a máquina     |             |   |   |   |   |   | 211.8                                                                | 150.0 | 112.4  | 100.0 | 177.0  | 100.0 |
| 13 | <=                            |             |   |   |   |   |   | <=                                                                   | <=    | <=     | <=    | <=     | <=    |
| 14 | Tiempo disponible por máquina |             |   |   |   |   |   | 100                                                                  | 100   | 100    | 100   | 100    | 100   |
| 15 | Tiempo remanente              |             |   |   |   |   |   | -111.8                                                               | -50.0 | -12.4  | 0.0   | -77.0  | 0.0   |
| 16 | % de utilización              |             |   |   |   |   |   | 212%                                                                 | 150%  | 112%   | 100%  | 177%   | 100%  |

Figura 5. Tabla final de prueba

### Fase 5. Implantación de la solución

Esta fase se refiere a asegurarse que tanto la operación como interpretación de resultados del modelo desarrollado sea entendida por los usuarios finales de tal forma que permita su utilización sin complicaciones (Taha, 1995). Una de las ventajas que tiene la solución desarrollada es que se utilizó el Excel, programa con el cual los usuarios ya están familiarizados por lo que no se requirió de un entrenamiento especializado sobre un software específico, solo aprendizaje de las ventanas de Premium Solver. El modelo es flexible y fácil de utilizar, ya que los usuarios al ya conocer el Excel, pueden agregar o remover máquinas o componentes a considerarse en el plan sin dificultad.

### RESULTADOS Y DISCUSIONES

Después de importar la información de requerimientos del Plan Maestro de Producción del sistema MRP II la asignación de tiempos a máquinas utilizando Premium Solver es en segundos, por lo que la operación total en vez de realizarse en un turno de 9 horas puede ser realizada en menos de 30 minutos, considerando la importación de datos a la hoja de cálculo.

La herramienta propuesta también contiene información que puede ser utilizada en el análisis de capacidad. Siguiendo nuevamente la figura 5, la suma

de los tiempos asignados para cada máquina (Renglón 12), indican los tiempos requeridos, al compararlos con el tiempo disponible (Renglón 14) nos muestra si se tiene suficiente capacidad o no para producir las ordenes de trabajo requeridas, es decir el % de utilización requerido de las máquinas (Renglón 16). De esta manera el análisis de capacidad se tiene por máquina en vez de un promedio de máquinas como comúnmente se realizaba. Con lo anterior se obtienen datos precisos por máquina.

### CONCLUSIONES

El modelo proporciona una tabla óptima de asignación de trabajos a las máquinas considerando las prioridades de la administración de forma fácil y rápida sin hacer una inversión de un software especializado. Esta información también es utilizada para determinar los requerimientos de capacidad por máquina, anteriormente elaborada en grupos de máquinas, obteniéndose de esta forma datos precisos por máquina y no promedios. Los resultados muestran una reducción del 94 % de tiempo en la operación de asignación de trabajos a máquinas. El modelo funciona en base a los requerimientos especificados al utilizarse Premium Solver de Excel.

Se recomienda que la empresa emigre a tecnología de grupos para que formen familias de partes y los parámetros de máquinas prioritarias se uniformicen

por familias. Esto facilitará no solo el proceso de planeación sino todos los procesos a lo largo de la cadena de valor. También se recomienda como trabajo futuro mejorar el método de importación de datos del sistema MRP a la hoja de cálculo, de manera que la operación total pueda reducirse a menos de 10 minutos.

#### **RECONOCIMIENTOS**

Este proyecto fue financiado por la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Baja California. Un reconocimiento especial para el personal de la empresa que hizo posible la realización de este proyecto.

#### **REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS**

- Anderson, D., Sweeney, D., Williams, T. (1999). "Contemporary Management Science", South-Western College Publishing, pp 225.
- Brucker, P., Schlie R. (1990). "Job-shop scheduling with multipurpose machines", Computing, vol. 45, pp 369-375.
- Carter, Michael W. (2001). "Operations research, a practical introduction", CRC, pp 32.
- Cheng, T. C. E., Sin C. C. S. (1990). "A state-of-the-art review of parallel machine scheduling research", European Journal of Operations Research, vol. 47, pp 271-292.
- Hillier, Frederick S. (2006). "Introducción a la investigación de operaciones", Mc Graw Hill, pp 320.
- Lee, M. (1983). "Introduction to Management Science", CBS College Publishing, pp 250.
- Ragsdale, Cliff (2007). "Spreadsheet modelling and decision analysis", Thomson South Western, pp 45, 54.
- Taha, Handy A. (1995). "Investigación de operaciones", Alfaomega, pp 11.
- Fourer, Robert (2007). "Linear programming survey software", OR/MS Today, <http://lionhrtpub.com/orms/orms-6-07/frsurvey.html>.

---

Este documento se debe citar como:

Medina León, S. V., Raya Díaz, K. y Contreras Orendain, M. R. (2007). **Utilización del modelo de transporte para la asignación de trabajos a máquinas considerando prioridades**. Ingeniería, Revista Académica de la FI-UADY, 11-2, pp. 47-55, ISSN: 1665-529X.