

Trabajo Fin de Grado

Grado en Ingeniería de las Tecnologías  
Industriales

Diseño de una aplicación para la planificación de la  
capacidad y las necesidades de materiales

Autor: Adrián Bravo Carrasco

Tutor: Luis Onieva Giménez

Dpto. Organización Industrial y Gestión de  
Empresas II

Escuela Técnica Superior de Ingeniería

Sevilla, 2019





Trabajo Fin de Grado  
Ingeniería de las Tecnologías Industriales

# **Diseño de una aplicación para la planificación de la capacidad y las necesidades de materiales**

Autor:

Adrián Bravo Carrasco

Tutor:

Luis Onieva Giménez

Catedrático de Universidad

Dpto. de Organización Industrial y Gestión de Empresas II

Escuela Técnica Superior de Ingeniería

Universidad de Sevilla

Sevilla, 2019



Trabajo Fin de Grado: Diseño de una aplicación para la planificación de la capacidad y las necesidades de materiales

Autor: Adrián Bravo Carrasco  
Tutor: Luis Onieva Giménez

El tribunal nombrado para juzgar el Proyecto arriba indicado, compuesto por los siguientes miembros:

Presidente:

Vocales:

Secretario:

Acuerdan otorgarle la calificación de:

Sevilla, 2019

El Secretario del Tribunal



*A mi familia*  
*A mis maestros*





# Agradecimientos

---

En primer lugar, quería agradecer a mi tutor Luis Onieva Giménez por darme la oportunidad de poder realizar este trabajo fin de carrera con él, por sus orientaciones, facilidades y explicaciones durante éste.

Por supuesto agradecer a mi familia por todo su apoyo, especialmente a mis padres, Pablo y Rosalía, por creer en mí y en mis sueños, por su confianza y apoyo depositados en mí. Ellos son responsables de la persona que soy. Por educarme de la manera que lo hicieron, con sus dedicaciones y enseñanzas, por apoyarme en los momentos más bajos y darme la fuerza para continuar y no rendirme nunca. A mis hermanos Francisco y Pablo, por ayudarme en cada momento de debilidad y aconsejarme desde sus experiencias para tomar la decisión más acertada a lo largo de mi período universitario. Y a mi abuela Carmen, por preocuparse por mí y porque con sus historias me hace desconectar cuando los necesito.

Agradecer también a mis amigos y compañeros de clase, José Antonio, Idania, Brenda, Noelia, Raquel y Antonio Jesús, por estar siempre cuando he necesitado ayuda, en los momentos difíciles, y por sus apoyos incondicionales en todo momento, así como por aguantarme cuando tengo un mal día o las cosas no salían como lo deseaba.

A todos vosotros,  
MUCHAS GRACIAS.



En este Trabajo Fin de Carrera se ha desarrollado una aplicación que genera la solución a un problema de planificación de materiales y de capacidad en un entorno industrial de producción, generando una solución heurística para el problema de la planificación de la capacidad.

La aplicación es abierta, a través de un archivo se puede introducir los datos necesarios iniciales de cada producto y subproducto para obtener un resultado para cualquier tipo de problema que el usuario demande.

La obtención de los resultados, generados a través de la aplicación MATLAB, se visualizará en el mismo archivo que se introdujeron los datos, tanto la planificación de los materiales como la de la capacidad.



# Abstract

---

The aim of this End-of-Degree Project is to create an application that generates the solution to a problem of planning materials and capacity in a manufacturing and/or production industry environment, giving a non-optimal solution in the case of planning the capacity, but give an acceptable solution.

The application is open, through a template generated in EXCEL you can enter the necessary initial data of each product and sub-subordinate to obtain a result for any type of problem that the user demands.

The obtaining of the results, generated through a code in MATLAB, will be visualized in the same EXCEL (in different sheets) that the data were introduced, both the planning of the materials and the capacity.



# Índice

---

<b>Agradecimientos</b>	<b>9</b>
<b>Resumen</b>	<b>11</b>
<b>Abstract</b>	<b>13</b>
<b>Índice</b>	<b>15</b>
<b>Índice de tablas</b>	<b>17</b>
<b>Índice de figuras</b>	<b>18</b>
<b>1 Introducción</b>	<b>19</b>
1.1 <i>Objetivo del proyecto</i>	19
1.2 <i>Antecedentes históricos</i>	20
1.3 <i>Motivación para la realización del proyecto</i>	21
1.4 <i>Hipótesis y limitaciones</i>	23
<b>2 El sistema MRP</b>	<b>26</b>
2.1 <i>Plan Maestro de Producción</i>	27
2.2 <i>Estructura de fabricación</i>	27
2.3 <i>Estado de stock</i>	28
2.3.1 Existencias al principio de cada período	29
2.3.2 Cantidades comprometidas	29
2.3.3 Recepciones de órdenes programadas	29
2.3.4 Stock de seguridad	29
2.3.5 Tamaño de lote	30
2.3.5.1 Lote a lote (LaL)	30
2.3.5.2 Tamaño fijo (LF)	30
2.3.5.3 Lote económico (LE)	30
2.3.5.4 Tiempo del lote económico (LTE)	31
2.3.5.5 Mínimo costes medios (MCM)	32
2.3.5.6 Mínimos costes unitarios (MCU)	32
2.3.5.7 Equilibrado de coste (EC)	33

2.3.6	Plazo de aprovisionamiento	33
2.4	<i>Metodología y conceptos del Sistema MRP</i>	34
<b>3</b>	<b>El sistema CRP</b>	<b>38</b>
3.1	<i>Carga de trabajo</i>	38
3.2	<i>Trabajo en máquinas</i>	42
<b>4</b>	<b>Manual de usuario</b>	<b>46</b>
4.1	<i>Alcance de la aplicación</i>	46
4.2	<i>Recogida de datos para MRP</i>	47
4.2.1	Necesidades básicas del producto final	47
4.2.2	Estructura de fabricación	47
4.2.3	Datos sobre el estado de stock	51
4.3	<i>Recogida de datos para CRP</i>	52
4.4	<i>Generación de resultados MRP</i>	53
4.5	<i>Generación de resultados CRP</i>	55
4.5.1	Cargas medias	55
4.5.2	Secuenciación de los trabajos	57
<b>5</b>	<b>Conclusiones</b>	<b>60</b>
<b>6</b>	<b>Bibliografía</b>	<b>61</b>
<b>7</b>	<b>Anexo</b>	<b>62</b>
7.1	<i>Anexo 1. Archivo Excel de entrada.</i>	62
7.2	<i>Anexo 2. Código en Matlab.</i>	64
7.3	<i>Anexo 3. Archivo Excel de salida.</i>	98



# Índice de tablas

---

<b>Tabla 1.1. Número de empresas en el sector industrial durante 2016</b>	<b>23</b>
<b>Tabla 2.1. Plan Maestro de Producción del producto ‘X’</b>	<b>27</b>
<b>Tabla 2.2. Estado de stock de las referencias del producto final ‘X’.</b>	<b>33</b>
<b>Tabla 2.3. Cálculo de las necesidades del producto de nivel 0 (X)</b>	<b>35</b>
<b>Tabla 2.4. Cálculo de las necesidades del producto de nivel 1 (A)</b>	<b>35</b>
<b>Tabla 2.5. Cálculo de las necesidades del producto de nivel 2 (C)</b>	<b>35</b>
<b>Tabla 2.6. Cálculo de las necesidades del producto de nivel 3 (B)</b>	<b>36</b>
<b>Tabla 2.7. Cálculo de las necesidades del producto de nivel 3 (M)</b>	<b>36</b>
<b>Tabla 2.8. Cálculo de las necesidades del producto de nivel 4 (N)</b>	<b>36</b>
<b>Tabla 2.9. Cálculo de las necesidades del producto de nivel 4 (P)</b>	<b>37</b>
<b>Tabla 3.1. Maestro de operaciones del producto X</b>	<b>39</b>
<b>Tabla 3.2. Órdenes de producción</b>	<b>40</b>
<b>Tabla 3.3. Cargas medias en S1.</b>	<b>40</b>
<b>Tabla 3.4. Cargas medias en S2.</b>	<b>40</b>
<b>Tabla 3.5. Ruta de fabricación del lote X2</b>	<b>42</b>
<b>Tabla 3.6. Tiempos de operaciones</b>	<b>44</b>
<b>Tabla 3.7. Paso 1 del algoritmo de Johnson</b>	<b>44</b>
<b>Tabla 3.8. Paso 2 del algoritmo de Johnson</b>	<b>44</b>
<b>Tabla 4.1. Necesidades básicas de X</b>	<b>51</b>
<b>Tabla 4.2. Nombre de la referencia de cada producto</b>	<b>51</b>
<b>Tabla 4.3. Recogida de dato del producto final</b>	<b>51</b>
<b>Tabla 4.4. Plantilla modelo de recogida de dato de los productos de nivel inferior</b>	<b>51</b>
<b>Tabla 4.5. Referencia numérica de los lotes</b>	<b>51</b>
<b>Tabla 4.6. Recogida de datos para la capacidad</b>	<b>53</b>
<b>Tabla 4.7. Modelo de tabla de solución de MRP</b>	<b>54</b>
<b>Tabla 4.8. Tabla de generación de resultado de cagas medias por sección</b>	<b>55</b>
<b>Tabla 4.9. Tabla de generación de cargas medias</b>	<b>56</b>
<b>Tabla 4.10. Secuenciación de los trabajos para el producto X</b>	<b>58</b>

# Índice de figuras

---

<b>Figura 1.1. Evolución del sistema MRP.</b>	<b>21</b>
<b>Figura 1.2. Curva de la bañera.</b>	<b>25</b>
<b>Figura 2.1. Módulos del Sistema MRP</b>	<b>26</b>
<b>Figura 2.2. Árbol del producto 'X'.</b>	<b>28</b>
<b>Figura 3.1. Planificación de la capacidad</b>	<b>38</b>
<b>Figura 3.2 Carga media de la sección 1</b>	<b>41</b>
<b>Figura 3.3. Carga media de la sección 2</b>	<b>41</b>
<b>Figura 3.4. Diagrama de Gantt del lote X2</b>	<b>43</b>
<b>Figura 3.5. Diagrama de Gantt</b>	<b>45</b>
<b>Figura 4.1. Diagrama de cargas media de la sección 1</b>	<b>56</b>
<b>Figura 4.2. Diagrama de cargas media de la sección 2</b>	<b>57</b>

# 1 INTRODUCCIÓN

---

En este primer capítulo se van a explicar los objetivos y el alcance del proyecto, así como la importancia de este en la actualidad para las empresas tanto nacionales como internacionales.

Posteriormente, se analizará la evolución del sistema MRP (*Material Requirements Planning*) a lo largo de su historia, por qué surgió y con qué fin. Se realizará también referencia a la aparición del sistema CRP (*Capacity Relationship Management*) y la importancia que tuvo junto al sistema MRP para las empresas de producción y fabricación.

A continuación, se explicarán las principales motivaciones por las que se ha decidido realizar el diseño una aplicación para la planificación de la capacidad y las necesidades de materiales y la importancia que tiene.

Por último, se argumentará porqué se han terminado adoptando una serie de limitaciones e hipótesis en la aplicación, con base teórica, en este trabajo.

## 1.1 Objetivo del proyecto

La planificación de los materiales es algo fundamental para una empresa de fabricación ya que constantemente hay que realizar una planificación para las necesidades de materiales para cubrir la demanda. De la misma manera, es primordial la planificación de la capacidad puesto que muestra las limitaciones de la empresa para llegar a cumplir la demanda en el instante deseado.

A través de la planificación de materiales, se puede realizar un control de las unidades que hay que realizar por período y así tener una visión de las materias primas necesaria para la realización de cada producto. Esto provoca que las empresas realicen sus pedidos externos de manera que minimice las unidades en inventario con lo que el coste disminuye.

Por su parte, la planificación de la capacidad es tan importante como la de los materiales ya que a partir de las necesidades de los productos se puede ver si hay capacidad dentro de la fábrica para cumplir la demanda prevista. A través de esta planificación se pueden tomar medidas, como aumentar las horas de los operarios, horas extras, redistribución de los trabajos, etc., para cumplir la capacidad ya que por lo contrario provocaría un retraso en la demanda ocasionando mucha perdida.

Esta tarea no es nada fácil ya que no hay un método cerrado para realizar esta planificación y control. Eso se debe a que cada proceso de fabricación es totalmente diferente ya que no es lo mismo, por

ejemplo, la fabricación de un coche que la de un televisor. Esta diversidad de casos hace que la planificación sea compleja y que haya una necesidad de realizar un programa abierto para cualquier tipo de fabricación.

Este proyecto se ha encargado de realizar una aplicación que genere la planificación de materiales para cualquier estructura de fabricación. No obstante, tiene limitaciones. Para el caso de la planificación de los materiales solo se puede realizar diez productos de forma exacta con una serie de tamaños de lote. Con respecto a la planificación de la capacidad es algo más complejo, ya que la parte de secuenciación de los trabajos es difícil encontrar el óptimo en un tiempo razonable y corto. Por eso, se ha optado por la realización de una secuenciación admisible y no muy leja del óptimo. Esta secuenciación se realiza mediante un método que consiste en realizar primero los trabajos con más prioridad, es decir, los que antes son demandados según el plan maestro de producción.

En definitiva, el presente proyecto se encarga de realizar una aplicación de la planificación y control de materiales y la capacidad siempre en un contexto ideal que no albergue contratiempo desde el momento que se introducen los datos necesarios para la resolución.

## **1.2 Antecedentes históricos**

El sistema de planificación de requerimientos de materiales o MRP es un sistema que se encarga de la gestión, la planificación y el control de inventario de un proceso de fabricación o producción.

Fue a comienzos de los años 70 cuando surgió el sistema MRP como alternativa a la gestión de inventarios. Esta técnica incluía tanto la gestión de inventario como las soluciones a los problemas de esta debido a la demanda variante y dependiente. A finales de esta década surgió el sistema MRP de Bucle Cerrado, que podía definir las limitaciones de una empresa, consistía en la retroalimentación de la salida del sistema MRP para establecer las nuevas capacidades y la viabilidad a largo plazo de una empresa.

Estos sistemas de Bucle Cerrado continuaron mejorando y evolucionando, llegando a convertirse en los conocidos sistemas MRP II (Manufacturing Resource Planning). El MRP II no sólo se encargaba de la planificación, la gestión y el control de inventarios, sino que también abordaba elementos financieros, pudiendo trabajar en distintos sectores mediante elementos de simulación.

La evolución del sistema MRP no solo se quedó en los sistemas MRP II ya que se siguió mejorando y desarrollando nuevas técnicas y herramientas no únicamente orientado a la gestión de los materiales de producción sino en ámbito más general como es la gestión empresarial, provocando así la aparición de los Sistemas Integrales de Gestión. El primero de estos sistemas fue el BRP (Business Resources Planning), que evolucionó en la década de los noventa dando lugar a los sistemas ERP (Enterprise

Resources Planning), orientados más fuertemente a la planificación global de los recursos de la empresa (incluyendo la gestión de la producción).

Los ERP son una herramienta de apoyo para la toma de decisiones que buscan la unión e integración de todos los procesos operativos e información con la finalidad de encontrar las sinergias entre los recursos disponibles dentro de una empresa. Estos sistemas facilitan el control de las actividades principales en las empresas y consiguen una integración completa entre los sistemas de información para ayudar a los procesos de mejora continua y la introducción de nuevas tecnologías.

La evolución final del sistema MRP es el denominado ERP II que además de centralizar e integrar toda la información de todos los departamentos, amplía los límites de la propia empresa incorporando otros factores de la cadena de suministros como puede ser los clientes, los proveedores...

La evolución cronológica de todo el sistema de gestión, planificación y control de una empresa, así como su alcance y funcionalidad viene reflejada en la figura 1.1.

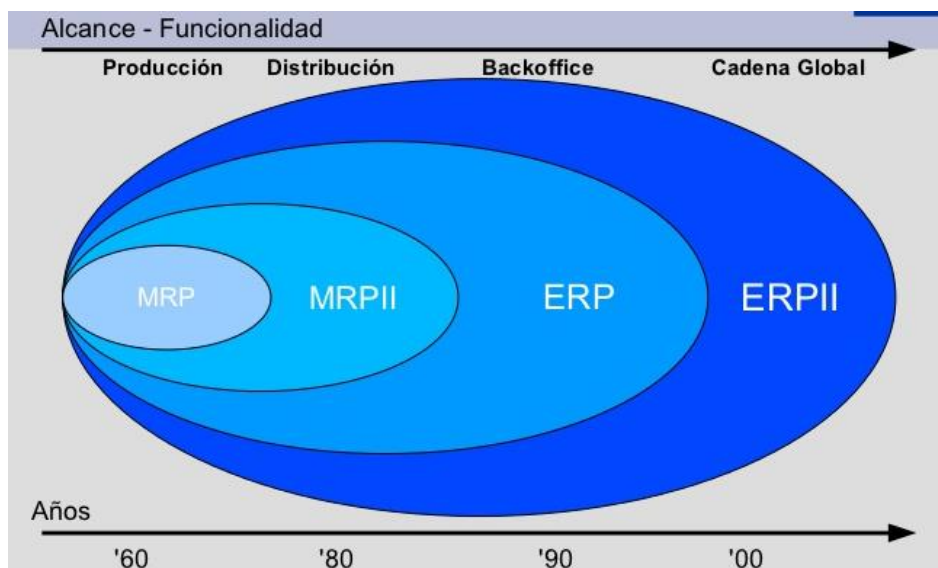


Figura 1.1. Evolución del sistema MRP.

Fuente: Evolución de los sistemas MRP y ERP. 2017

### 1.3 Motivación para la realización del proyecto

Principalmente, para las factorías dedicadas a la producción y/o fabricación es esencial una planificación de la producción para evitar problemas de ruptura de stock, parada de líneas y garantizar el servicio al cliente. Por eso, las empresas dedican su mayor esfuerzo y tiempo para la elaboración del plan maestro de producción (cuantas unidades necesarias a fabricar de un producto y cuando realizarlas), así como la planificación de todos los materiales necesarios para fabricar el producto principal. Para ello, se tiene que tener en cuenta la sincronización temporal en la fabricación o

producción de todos los subproductos para garantizar un trabajo sin errores (o minimizándolos) y optimizando al máximo los productos empleados.

A pesar que hoy en día las empresas desean tener software con los que poder controlar y gestionar todos los aspectos relevantes e insignificantes dentro de su negocio, no todas tienen la capacidad de poseer software potentes y sofisticados para gestionar todos los aspectos y las comunicaciones principales dentro de un negocio. Por ello, muchas de ellas priorizan en la resolución de la planificación de la producción y la creación de un planing de los materiales necesarios para la consecución de sus objetivos, es decir, la realización de un MRP para cada producto a fabricar.

La creación de un MRP, es un trabajo pesado y tedioso, ya que históricamente se realizaba a mano, pudiendo ocasionar numerosos fallos debido a descuidos humanos. Por este motivo, la aplicación que se realizará en este proyecto es de vital importancia para las empresas, cumpliendo dos aspectos importantes dentro de ellas. El primero es la reducción de tiempo a la hora de realizar la planificación a lo largo de un período para la fabricación un producto. El segundo de ello, es la reducción de errores debido al factor humano, evitando así volver a repetir el proceso desde el principio. Ambas circunstancias facilitan la reducción de costes. En primer lugar, de coste de personal, ya que con la posesión de la aplicación para la planificación de la capacidad y las necesidades de los materiales reduciría una cantidad significativa el tiempo para obtener la planificación de producción de un producto. En segundo lugar, con el uso de la aplicación se reducirá el riesgo de volver a repetir el proceso y evitar cualquier desajuste en el número de fabricación, pudiendo provocar una rotura de stock o una sobreproducción de un producto. No obstante, sigue existiendo la posibilidad de un fallo humano en el instante de la introducción de los datos al programa.

Por otro lado, un dato que incentiva la realización de este proyecto es que a pesar de haber pasado un periodo de crisis económica en España desde el año 2008, donde numerosas empresas se vieron obligadas a reducir su tamaño o incluso desaparecer, se ha podido superar este desequilibrio industrial y numerosas manufactureras han surgido y han crecido, convirtiéndose en 2016, según el INE, en el sector que más empresa tiene dentro del sector industrial.

Como se muestra en la Tabla 1.1 el número de empresas dedicadas a la elaboración y fabricación de productos es superior a las del sector, ocupando un 88% del total en el ámbito industrial por lo que la creación de una aplicación que genere resultados de la planificación y de la capacidad en un proceso productivo es interesante a pesar de que existan numerosas aplicaciones en el mercado.

Tabla 1.1. Número de empresas en el sector industrial durante 2016

Sección de actividad	Número de empresas	
	Total	% sobre el total
Industrias extractivas	2.049	1,1
Industria manufacturera	166.930	88,0
Suministro de energía eléctrica, gas, vapor y aire acondicionado	14.018	7,4
Suministro de agua, actividades de saneamiento, gestión de residuos y descontaminación	6.722	3,5
<b>TOTAL</b>	<b>189.719</b>	<b>100,0</b>

Fuente: Estadística Estructural de Empresas: Sector Industrial, Año 2016. (INE)

#### 1.4 Hipótesis y limitaciones

Para la realización de este proyecto, se han barajado numerosos factores, entre los que destacan incluir el rendimiento de los trabajadores en la línea de fabricación, incorporar el rendimiento de las piezas realizadas exitosamente y tener en cuenta probabilidad de fallos de las máquinas para la ejecución del objeto.

En primer lugar, cada trabajador tiene una función dentro del sistema de producción, pero a pesar de todo, no todo el tiempo se encuentra realizando su tarea, por lo que su rendimiento baja (ec.1).

$$\text{rendimiento}(\%) = \frac{\text{tiempo real trabajado}}{\text{tiempo teórico trabajado}} \times 100 \quad (\text{ec.1})$$

Esto provocaría una alteración principalmente en el sistema de planificación de la capacidad de los sectores, puesto que a menor rendimiento mayor tiempo medio se necesitaría para fabricar una pieza o subpieza del producto. Este dato puede ser insignificante, pero se debería tener en cuenta aguas abajo ya que ese tiempo va aumentando a medida que sea mayor el proceso (ec.2).

$$\text{Tiempo total} = \sum_{i=1}^n \frac{T_i}{R_i} \quad (\text{ec.2})$$

Siendo:

$T_i$ : tiempo del proceso  $i$ .

$R_i$ : rendimiento medio de los trabajadores en el proceso  $i$ .

$n$ : número total de procesos.

Sin embargo, se ha tomado la decisión de no tener en cuenta este aspecto a la hora de realizar la aplicación ya que este desajuste se podría corregir de forma sencilla de diversas maneras ajenas a este proyecto, ya sea por la incorporación de más trabajadores o aumentando la capacidad de cada sector de acuerdo con el rendimiento de los trabajadores.

Otra disyuntiva que se planteó fue la incorporación del rendimiento de las piezas realizadas con éxito. Como se sabe, en un proceso de fabricación, no todas las piezas salen dentro de los parámetros y tolerancias deseadas. De tal forma, se debe tener en cuenta las piezas defectuosas, ya que esto provocaría la necesidad de aumentar en número de piezas a fabricar o producir para cumplir con la planificación del MRP.

No obstante, para la elaboración de un producto es necesario la unión o el ensamblado de varios materiales, (p.j. Para tener una bicicleta es necesario tener dos ruedas, un manillar, los pedales y en la estructura o cuadro principal). Como hemos mencionado anteriormente, para la fabricación de una cantidad de cada uno de los elementos, es necesario realizar más unidades de dicha cantidad debido a que la eficiencia de los productos no es la máxima. Para saber qué cantidad de más habría que realizar tenemos que saber cuál es el aprovechamiento en cada máquina, es decir, que porcentaje de elementos fabricados es de forma exitosa.

Sin embargo, a medida que se va aguas abajo en el proceso productivo este aprovechamiento se va viendo influenciado por los objetos que le precede. Por ejemplo, si la eficiencia de las bicicletas es de 0.97 y el de las ruedas es del 0.92 por separado, el aprovechamiento de las ruedas en el proceso global sería de  $0.97 \times 0.92 = 0.8924$ , realizándolo esta operación con todos los elementos siguiendo su ruta predefinida de fabricación.

Por tanto, la merma de cada elemento va originando que el tamaño del lote teórico no sea el que realmente planificado, sino que se deban realizar más para cumplir la planificación de la demanda.

Calcular la merma o desajuste de cada elemento no es nada sencillo teóricamente, ya que es un proceso que se puede estimar, pero no se garantiza la exactitud en el proceso productivo sabiendo que el desajuste tiene una probabilidad aleatoria en cada uno de los elementos. Además, los tipos de mermas son muy diversos, desde mermas originadas por defecto de máquinas hasta por el mal estado de materia prima.

A pesar de todo, esto se debe tener en cuenta en la elaboración del Plan Maestro de Producción, el cual la elaboración del mismo excede los objetivos de este trabajo. Por este motivo no se ha tenido en cuenta el factor de fallo del material de fabricación.



Por último, el fallo de las máquinas es un factor que hay que tener muy en cuenta ya que las averías están presentes en todos los procesos. Las máquinas de fabricación, al igual que todas, tiene una tasa fallo muy peculiar (Figura 1.3) y similar a la denominada curva de la bañera.

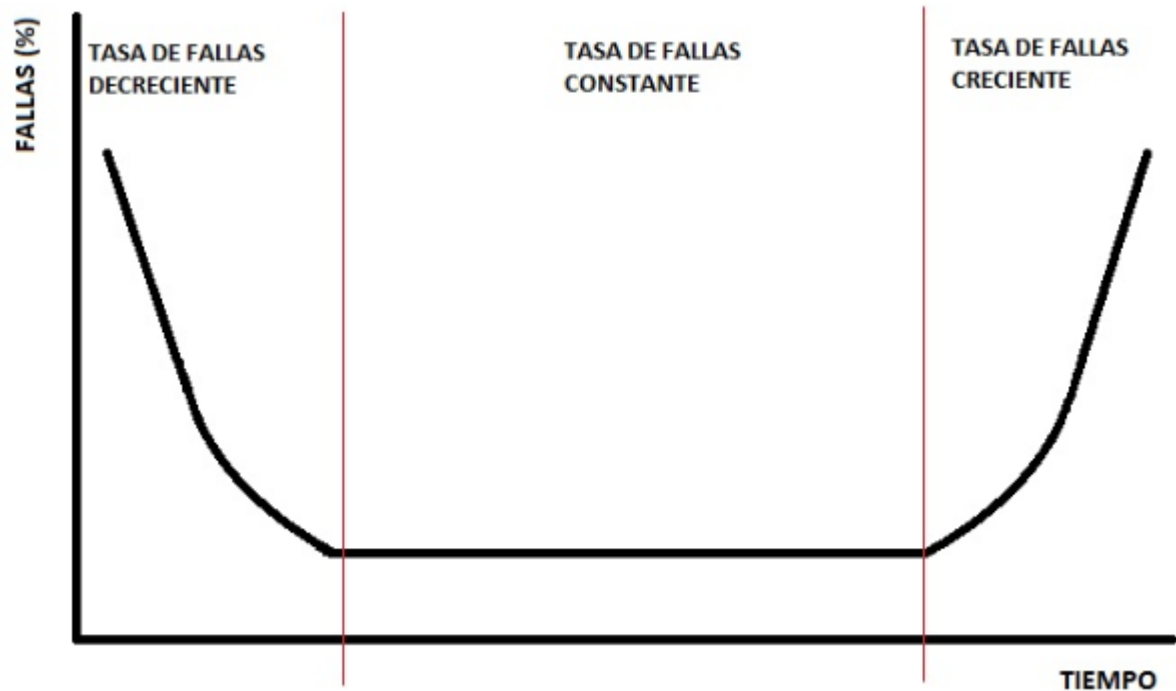


Figura 1.2. Curva de la bañera.

Fuente: Lecciones de fiabilidad Industrial, 2017.

Como se muestra en la Figura 1.3, se puede ver tres zonas de diferencias. En la primera la tasa de fallo es decreciente, esto se debe a los diversos fallos que puede ocurrir en la fabricación del objeto o la máquina, denominada período infantil. La zona central, correspondiente a la vida útil la tasa de fallo es constante y mínima, con una probabilidad de fallo aleatoria. Al final de la vida útil, se produce el desgaste de la máquina por lo que la tasa de fallo es creciente.

Debido a la probabilidad de fallos de los componentes de las máquinas en el proceso de producción, es difícil definir con exactitud la planificación de la capacidad. Por este motivo, se ha optado por suponer que las máquinas no fallan nunca por lo que el sistema CRP se ha realizado a partir de esta hipótesis.

En definitiva, el presente trabajo se ha realizado de forma ideal, es decir, que no falle nada ni ocurra ningún contratiempo que modifique la planificación de los materiales ni la capacidad a lo largo del período planificado ya que es prácticamente imposible prever un fallo mecánico y el rendimiento de los trabajadores como la eficiencia de la fabricación de las piezas en mal estado suele ser variable.

## 2 EL SISTEMA MRP

En este capítulo se va a definir en qué consiste el sistema MRP, dando nociones de cuáles son sus principales ventajas, así como los datos necesarios de entradas para la realización del mismo como el resultado obtenido una vez implementado el método.

A continuación, se explicará brevemente los tipos de lotes posibles a la hora de fabricar un producto, viendo por qué son de interés cada uno de ellos y por qué son apropiados según cada tipo de producto. Las siglas MRP provienen del término anglosajón “*Material Requirement Planning*”. Esta denominación se utiliza hoy en día para referirse a los sistemas de programación y control que integran los módulos del programa maestro de producción, las listas de los materiales y teniendo en cuenta el estado de los inventarios, genera las necesidades de materiales de todos los elementos que están presente en la fabricación, estableciendo así un planning de las ordenes de suministros que intervienen tanto interna como externamente. En la figura 2.1 se visualiza los diferentes módulos ya mencionados.



Figura 2.1. Módulos del Sistema MRP

Fuente: Diseño y gestión de sistemas productivos. Dextra. 2017

## 2.1 Plan Maestro de Producción

El plan maestro de producción consiste en calcular las cantidades y fechas en que deben de estar disponibles los productos necesarios para cubrir su demanda. El plan maestro de producción da la información de los productos con demanda externas, es decir, los denominados productos finales que son vendidos a otras empresas.

Otro punto importante del plan maestro de producción es la elección del intervalo de tiempo para la producción de un producto. Habitualmente, y así se ha considerado en este proyecto, los intervalos son elegidos por semanas, pudiéndose modificar según el interés de la producción o de la política de empresa.

Por otro lado, si la programación en el horizonte de tiempo que debe cubrir es de 8 semanas, el número de intervalos que debe tener el plan maestro de producción debe ser 8 (si los intervalos fuesen de 1 semana) o 40 (si los intervalos son diarios y cada semana tiene 5 días laborables).

El plan maestro de producción es una de las entradas más importantes de para la realización del MRP, ya que a partir de la demanda del producto final se puede calcular las cantidades y fechas necesarias para la elaboración interna del mismo. La tabla 2.1, muestra un plan maestro de producción del producto 'X' con 8 períodos, que servirá a modo de ejemplo durante todo el trabajo. El cálculo del mismo excede los límites de este proyecto, por lo que se tomará como un dato fijado.

Tabla 2.1. Plan Maestro de Producción del producto 'X'

Período	1	2	3	4	5	6	7	8
Necesidades netas	0	50	0	50	0	50	0	100

## 2.2 Estructura de fabricación

La estructura de fabricación es la lista completa y precisa de todos los materiales necesarios para la elaboración de un producto final, detallando la manera en la que se realiza. Muchos son los requisitos para definir una estructura. En primer lugar, todos los elementos deben tener un código asignado que les diferencien de los demás elementos. En segundo lugar, se debe diferenciar los elementos en distintos niveles. A cada elemento le corresponde un nivel en la estructura de fabricación de forma descendente. El nivel superior es el 0 que se asigna al producto final. De manera que se va descendiendo por el árbol o estructura de fabricación los niveles van aumentando.

En la estructura de la Figura 2.2, el producto final 'X' es de nivel cero. De la misma forma, el conjunto 'A' correspondería al nivel uno. Por su parte el componente 'B' debería pertenecer al nivel uno, pero como forma parte también de elemento 'C' tendría como nivel tres.

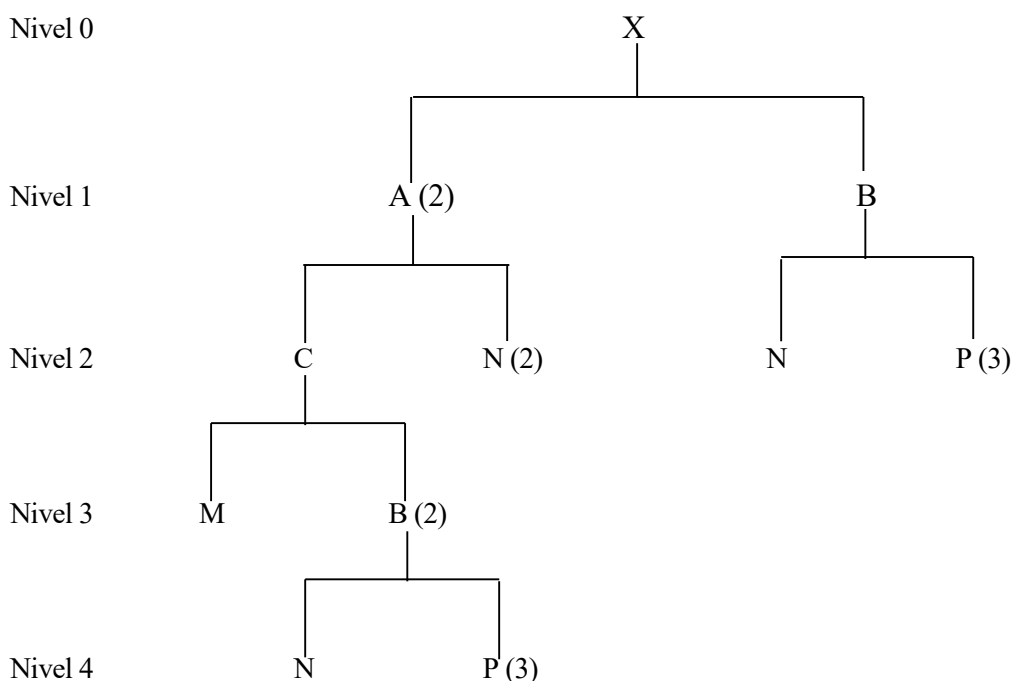


Figura 2.2. Árbol del producto 'X'.

Los elementos entre paréntesis de la estructura de la Figura 2.2 hace referencia al número de elementos necesarios del producto para fabricar uno de su nivel superior. Para fabricar una unidad del producto final, 'X', es necesario dos unidades del producto 'A' y uno del producto 'B'. De igual manera, para la fabricación de un sólo elemento de 'A' es necesario dos de 'N' y uno de 'C'.

### 2.3 Estado de stock

Para obtener el cálculo de las necesidades netas de los materiales es importante evaluar las cantidades y fechas en que han de estar disponible los productos finales y los elementos que actúan en la fabricación del mismo. Para que el sistema de control de la producción sea fiable, una descripción ajustada de las existencias en cada instante es primordial. Por ello, se debe tener un control total del nivel de stock para poder cumplir los plazos de aprovisionamiento. Además, en ocasiones en que algunos materiales estén comprometidos para otros fines que la fabricación del producto final se ha de tener en cuenta para poder satisfacer el programa de producción. En concreto, debe existir un perfecto conocimiento de la situación de stock, así como los materiales de proveedores como los productos intermedios participan en la elaboración de otros componentes de nivel superior. Todos estos

parámetros de cada referencia que intervienen en la producción deben estar actualizados en cada periodo:

### **2.3.1 Existencias al principio de cada período**

Las existencias de cada referencia para el primer periodo son reales y que físicamente se encuentran en almacenes. Ya para los siguientes períodos, estos valores son existencias programadas conforme el programa de planificación dicte.

### **2.3.2 Cantidades comprometidas**

En el caso que una referencia haya sido pedida antes de que empiece la planificación de la fabricación o durante la misma, pero para fines externos a la fabricación, no se podrá tener en cuenta ya que estas unidades estarían comprometidas y como tal se debe especificar.

### **2.3.3 Recepciones de órdenes programadas**

En ocasiones al realizar las fechas de fabricación ya hay unidades pedidas a proveedores o elementos de nivel inferior de la programación anterior. Debe saberse cuántas y cuándo será la recepción de dichas cantidades para poder utilizarlas en ambos fines: cubrir la demanda externa o la interna.

### **2.3.4 Stock de seguridad**

En un proceso de fabricación suele haber unos niveles de seguridad ya que la demanda suele ser prevista. Estos niveles garantizan una calidad de servicio al cliente ya que si por cualquier circunstancia hubiese un repunte en la demanda se podría satisfacer si se posee unos productos almacenados de seguridad. El stock de seguridad es más aconsejable para los programas en los que el aprovisionamiento es más variable o cuando la calidad del producto no sea la esperada (productos con fallos que vuelve el cliente y debe ser reemplazado). No obstante, el stock de seguridad siempre queda en manos de la política de cada empresa (pudiendo ser nula, en cualquier caso).

### 2.3.5 Tamaño de lote

El tamaño de lote es algo primordial en la programación de fabricación. No obstante, para cada referencia que interviene en la producción debe fijarse un tamaño de lote. El sistema necesita esta información para realizar el calendario de materiales. Los diferentes tamaños son:

#### 2.3.5.1 Lote a lote (LaL)

El tamaño del lote es exactamente igual a las necesidades netas. Esta política mantiene el nivel de inventario al mínimo. No obstante, exige el lanzamiento de orden cada vez que exista una necesidad bruta de la referencia.

#### 2.3.5.2 Tamaño fijo (LF)

El tamaño del lote es una cantidad fija determinada. El lanzamiento de orden es el tamaño de lote fijo si las necesidades netas son inferiores a este, si bien puede haber un lanzamiento de orden que sea un múltiplo de lote cuando las necesidades sean superiores a la cantidad del lote.

#### 2.3.5.3 Lote económico (LE)

Utiliza el valor medio de las necesidades brutas a lo largo del horizonte de planificación para calcular el lote económico. Para realizar este lote la demanda debe ser medianamente estable. Para hallar la cantidad del lote se realiza mediante la ecuación (ec.3):

$$Q = \sqrt{\frac{2 * A * D}{V * r}} \quad (\text{ec.3})$$

Siendo:

Q: tamaño de lote económico.

A: Coste de lote unitario.

D: Demanda media anual (unidades/año).

V: Coste del producto (€/unidad).

r: tasa de mantenimiento anual (€/€\*año).

#### 2.3.5.4 Tiempo del lote económico (LTE)

Es análogo al anterior, pero usando como regla el número de períodos correspondiente a la duración del tiempo económico. Los lanzamientos de orden se realizan de acuerdo al criterio del tiempo de lote económico (ec.4):

$$TLE = \sqrt{\frac{2*A}{V*r*D}} \quad (ec.4)$$

Una vez obtenido el Tiempo de lote económico, si el valor no es entero, se calcula el que tiene menor coste mediante la ecuación (ec.5):

$$CT(TLE) = A * \frac{1}{TLE} + \frac{D*TLE*V*r}{2} \quad (ec.5)$$

Siendo:

TLE: tamaño de lote económico.

A: Coste de lote unitario.

D: Demanda media anual (unidades/año).

V: Coste del producto (€/unidad).

r: tasa de mantenimiento anual (€/€\*año).

Quedando así cubierto las necesidades brutas del TLE, es decir si el tamaño del lote económico fuese 2, el lanzamiento de orden sería (ec.6):

$$LO = NB_1 + NB_2 \quad (ec.6)$$

Siendo:

LO: Lanzamiento de orden para el programa.

NB<sub>1</sub>: Necesidades brutas del periodo 1.

NB<sub>2</sub>: Necesidades brutas del periodo 2.

### 2.3.5.5 Mínimo costes medios (MCM)

Este tamaño de lote utiliza las necesidades brutas como si fuese una demanda variable y calcula los lotes de forma que minimice los costes medios por períodos. A medida que el horizonte va aumentando, aumenta también la complejidad del método. La cantidad que se demanda mediante el lanzamiento de orden es la suma de las necesidades brutas de los periodos anteriores del mínimo local encontrado por el método (ec.7):

$$CM_t = \frac{A + \sum_{i=1}^t (i-1) * D_i * V * r}{t} \quad (\text{ec.7})$$

Siendo:

$CM_t$ : Coste medio del período t.

A: Coste de lote unitario.

$D_i$ : Demanda bruta del período i (unidades/período).

V: Coste del producto (€/unidad).

r: tasa de mantenimiento anual (€/€\*período).

### 2.3.5.6 Mínimos costes unitarios (MCU)

Es análoga a la anterior, salvo que los lotes se calculan de forma que se minimicen los costes medios por unidad producida. La cantidad que se demanda mediante el lanzamiento de orden es la suma de las necesidades brutas de los periodos anteriores del mínimo local encontrado por el método (ec.8):

$$CU_t = \frac{A + \sum_{i=1}^t (i-1) * D_i * V * r}{\sum_{i=1}^t D_i} \quad (\text{ec.8})$$

Siendo:

$CU_t$ : Coste unitario del período t.

A: Coste de lote unitario.

$D_i$ : Demanda bruta del período i (unidades/período).

V: Coste del producto (€/unidad).

r: tasa de mantenimiento anual (€/€\*período).



### 2.3.5.7 Equilibrado de coste (EC)

El equilibrado de coste realiza el tamaño de lote aunando las necesidades brutas de los períodos anteriores al mínimo local obtenido mediante (ec.9):

$$EC_t = |A - \sum_{i=1}^t (i - 1) * D_i * V * r| \quad (\text{ec.8})$$

Siendo:

$EC_t$ : Coste del equilibrado de coste del período t.

A: Coste de lote unitario.

$D_i$ : Demanda bruta del período i (unidades/período).

V: Coste del producto (€/unidad).

r: tasa de mantenimiento anual (€/€\*período).

### 2.3.6 Plazo de aprovisionamiento

El plazo de aprovisionamiento es el periodo que transcurre desde que se lanza la orden de necesidad de un producto hasta la recepción de la misma para tener total disponibilidad de trabajar. Este aspecto está íntimamente relacionado con el tamaño de lote. Estos plazos de aprovisionamiento son perfectamente conocido y constante, y no depende de la cantidad de unidades pedidas para aumentar o disminuir dicho periodo.

La Tabla 2.3 se muestra todos los parámetros citados anteriormente para el caso de producto final 'X'.

Tabla 2.2. Estado de stock de las referencias del producto final 'X'.

Producto	X	A	B	C	N	M	P
Existencia inicial	60	100	200	0	1000	0	550
Cantidad comprometidas							
Recepciones programadas						500 (semana 2)	
Stock de seguridad							
Tamaño de lote	LaL	50	LaL	20	100	150	100
Tiempo de aprovisionamiento	1	1	1	2	1	1	2

## 2.4 Metodología y conceptos del Sistema MRP

El Sistema MRP diferencia entre una demanda independiente y dependiente en el proceso. Mientras que la demanda dependiente se refiere a los materiales demandado externamente, los cuáles se han calculado mediante el PMP, la demanda dependiente se refiere a los ítems demandados por otras referencias de un nivel superior. La suma de ambas demandas para cada referencia son las denominadas necesidades brutas. Para calcular todas las necesidades brutas de todos los ítems es necesario que todos los ítems de nivel superior estén realizados. De este modo, se empieza calculando las necesidades brutas del producto final (Nivel 0) y descendiendo en la estructura de fabricación se van calculando las necesidades hasta llevar a la materia prima.

Otro aspecto importante es eliminar de las necesidades brutas las unidades aquellos ítems que estén en inventario o tengan recepciones programadas de antemano. Así, se obtienen las necesidades netas que son las unidades necesarias de cada referencia que hacen falta fabricar para cumplir con la demanda exigida. De este modo, si las necesidades netas de un período son positivas significa que hay emitir un lanzamiento de orden con un lote (determinado por el usuario) que cubra las necesidades netas exigidas y que dichas unidades estén disponibles para el período considerado (teniendo en cuenta el desfase de período por el tiempo de aprovisionamiento de cada recurso).

Así pues, teniendo los datos de entrada, estado de stock, estructura de fabricación y plan maestro de producción, se puede obtener para cada período las necesidades de los productos de los distintos niveles. En concreto puede observarse:

- Necesidades brutas = demanda independiente + demanda dependiente.
- Recepciones programadas conocidas desde el instante inicial.
- Inventario disponible = inventario disponible al final del período anterior + recepciones programadas + recepciones de órdenes de producción – necesidades brutas.
- Necesidades netas = stock de seguridad + necesidades brutas – inventarios anteriores – recepciones programadas.
- Recepciones de órdenes de producción.
- Lanzamiento de órdenes de producción que serán recibidas tras el tiempo de aprovisionamiento de cada producto.

Observando la estructura del producto 'X' (Figura 2.2), poseyendo el estado de stock (Tabla 2.2) y el plan maestro de producción de 'X' (Tabla 2.1), el cálculo de las necesidades de cada ítem sería:

Tabla 2.3. Cálculo de las necesidades del producto de nivel 0 (X)

Período	Instante inicial	1	2	3	4	5	6	7	8
Necesidades brutas		0	50	0	50	0	50	0	100
Recepciones programadas									
Inventario	60	60	10	10	0	0	0	0	0
Necesidades netas					40		50		100
Recepción de órdenes					40		50		100
Lanzamiento de órdenes				40		50		100	

Tabla 2.4. Cálculo de las necesidades del producto de nivel 1 (A)

Período	Instante inicial	1	2	3	4	5	6	7	8
Necesidades brutas		0	0	80	0	100	0	200	0
Recepciones programadas									
Inventario	100	100	100	20	20	20	20	20	20
Necesidades netas						80		180	
Recepción de órdenes						100		200	
Lanzamiento de órdenes					100		200		

Tabla 2.5. Cálculo de las necesidades del producto de nivel 2 (C)

Período	Instante inicial	1	2	3	4	5	6	7	8
Necesidades brutas		0	0	0	100	0	200	0	0
Recepciones programadas									
Inventario	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Necesidades netas					100		200		
Recepción de órdenes					100		200		
Lanzamiento de órdenes			100		200				

Tabla 2.6. Cálculo de las necesidades del producto de nivel 3 (B)

Período	Instante inicial	1	2	3	4	5	6	7	8
Necesidades brutas		0	200	40	400	50	0	100	0
Recepciones programadas									
Inventario	200	200	0	0	0	0	0	0	0
Necesidades netas				40	400	50		100	
Recepción de órdenes				40	400	50		100	
Lanzamiento de órdenes			40	400	50		100		

Tabla 2.7. Cálculo de las necesidades del producto de nivel 3 (M)

Período	Instante inicial	1	2	3	4	5	6	7	8
Necesidades brutas		0	100	0	200	0	0	0	0
Recepciones programadas			500						
Inventario	0	0	400	400	200	200	200	200	200
Necesidades netas									
Recepción de órdenes									
Lanzamiento de órdenes									

Tabla 2.8. Cálculo de las necesidades del producto de nivel 4 (N)

Período	Instante inicial	1	2	3	4	5	6	7	8
Necesidades brutas		0	40	400	50	0	100	0	0
Recepciones programadas									
Inventario	1000	1000	960	560	510	510	410	410	410
Necesidades netas									
Recepción de órdenes									
Lanzamiento de órdenes									

Tabla 2.9. Cálculo de las necesidades del producto de nivel 4 (P)

Período	Instante inicial	1	2	3	4	5	6	7	8
Necesidades brutas		0	120	1200	150	0	300	0	0
Recepciones programadas									
Inventario	550	550	430	30	80	80	80	80	80
Necesidades netas				770	120		220		
Recepción de órdenes				800	200		300		
Lanzamiento de órdenes		800	200		300				

# 3 EL SISTEMA CRP

Tras obtener las cantidades necesarias mediante el MRP, el siguiente paso en la planificación y programación de la fabricación es hallar las capacidades de las distintas secciones dentro de una fábrica. Es aquí, cuando podemos hablar del sistema CRP, siglas del término inglés *Capacity requirement planning*. Este sistema tiene la funcionalidad de calcular la capacidad de cada sector, ocupación de los operarios en el proceso de producción y también distribuir los diferentes trabajos en el horizonte temporal mediante diagramas de Gantt. Como se muestra en la Figura 3.1, el sistema CRP necesita la solución generada del MRP y los datos de operaciones de cada sector de la fábrica, dando como solución la planificación de la capacidad y la ocupación de los operarios.

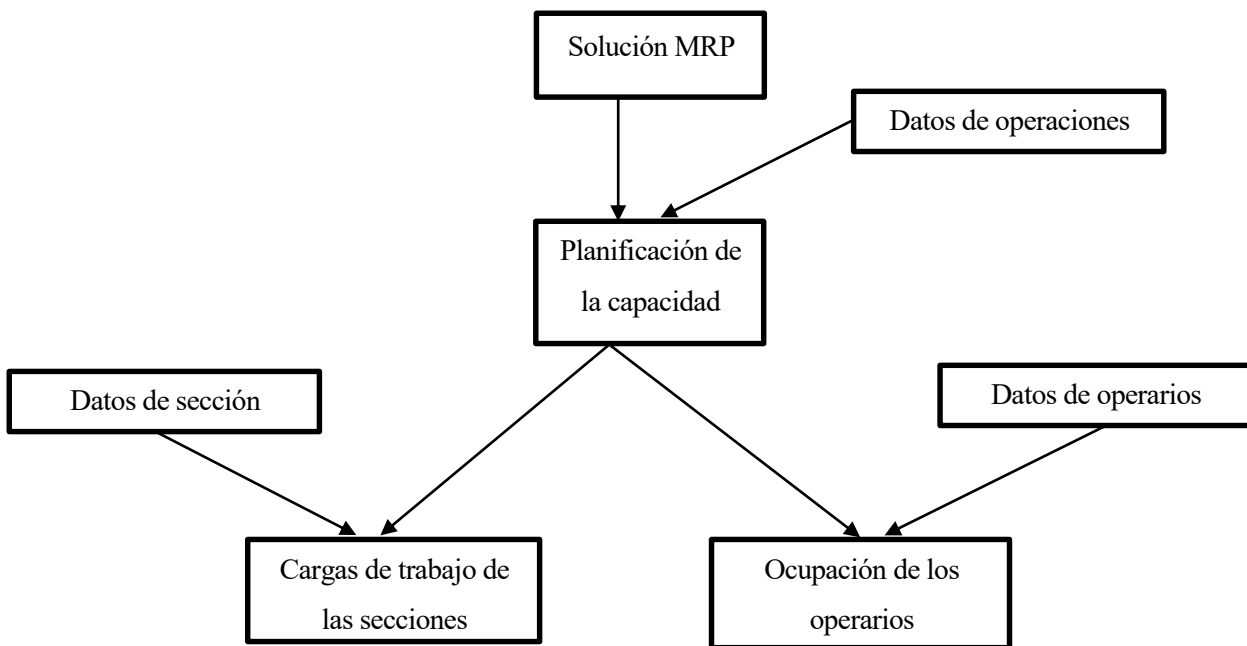


Figura 3.1. Planificación de la capacidad

Fuente: Diseño y gestión de sistemas productivos. Dextra. 2017

## 3.1 Carga de trabajo

Una vez obtenida la solución del módulo MRP es conveniente analizar la carga de los recursos que exige dicha solución. Las necesidades de los recursos se comparan con la capacidad disponible de cada sección. Si la carga es inferior a la capacidad no habría ningún inconveniente en realizar la planificación

cumpliendo todos los plazos. Si por lo contrario la carga es superior a la capacidad, habría que adoptar una serie de medidas, para cumplir con la programación, como puede ser la subcontratación, la realización de hora extras, adelantar la ejecución de las tareas, introducir nuevos turnos, transferir trabajos de una sección a otra, etc.

Las entradas necesarias para calcular la carga de las secciones son como muestras la Figura 3.1 las siguientes:

- Programa de producción, obtenido del MRP.
- La sección en la que se realiza cada ítem y los recursos que consumen.
- La capacidad disponible de cada sección.
- Los números de turnos de cada operario asociado a cada sección.

Y generando las salidas:

- Capacidad utilizada de cada sección.
- Niveles de ocupación de los operarios en cada sección.

A pesar de todo, el informe de cargas de cada sección debe estar supervisado por una persona para priorizar las órdenes de producción en aquellos recursos que sean escasos.

A través de un ejemplo se podrá observar la manera en la que el Sistema CRP actúa. Supongamos que se va a calcular las cargas de las secciones que interviene para la fabricación del producto X del capítulo anterior. Para la producción de este producto final es necesario tres materias primas, los productos con referencia N, M y P. Además, la fábrica consta de dos secciones para su producción. La primera de ellas, S1, se realizarán los productos X y B, mientras que en las secciones dos, S2, se obtendrá A y C. La Tabla 3.1, muestra el maestro de operaciones del producto X, donde se recoge las horas de preparación y de producción de cada uno de los productos.

Tabla 3.1. Maestro de operaciones del producto X

Producto	Sección	Horas de preparación	Horas de producción
X	1	7	1
A	2	6	2
B	1	4	0.4
C	2	3	0.5

Sin tener en cuenta las limitaciones de capacidad y usando los plazos de suministro constantes de la Tabla 2.2 se tiene las órdenes de producción de la Tabla 3.2.

Tabla 3.2. Órdenes de producción

Producto	Producto inferior <sup>1</sup>	Período	Cantidad
X1	-	3	40
X2	A1	5	50
X3	A2, B4	7	100
A1	C1	4	100
A2	C2	6	200
B1	-	2	40
B2	-	3	400
B3	-	4	50
B4	-	6	100
C1	-	2	100
C2	B2	4	200

A partir de las órdenes de producción de la Tabla 3.1 y suponiendo que el inicio del período en el que el MRP indica que ha de lanzarse la orden, el programa de fabricación da lugar a la siguiente situación para cada sección:

Tabla 3.3. Cargas medias en S1.

Producto	Período	Plazo de fabricación	Carga total	Carga media
X1	3	1	47 h.	47
X2	5	1	57 h.	47
X3	7	1	107 h.	107
B1	2	1	20 h.	20
B2	3	1	164 h.	164
B3	4	1	24 h.	24
B4	6	1	44 h.	44

Tabla 3.4. Cargas medias en S2.

Producto	Período	Plazo de fabricación	Carga total	Carga media
A1	4	1	206 h.	206
A2	6	1	406 h.	406
C1	2	2	53 h.	26,5
C2	4	2	103 h.	51,5

La representación de las cargas medias por período de cada sección de la Tabla 3.3 y 3.4 se ve reflejada en la Figura 2.4 y 2.5 respectivamente.

<sup>1</sup> Esta columna hace referencia a los productos que deben de estar realizados para poder realizar el ítem de su misma fila.



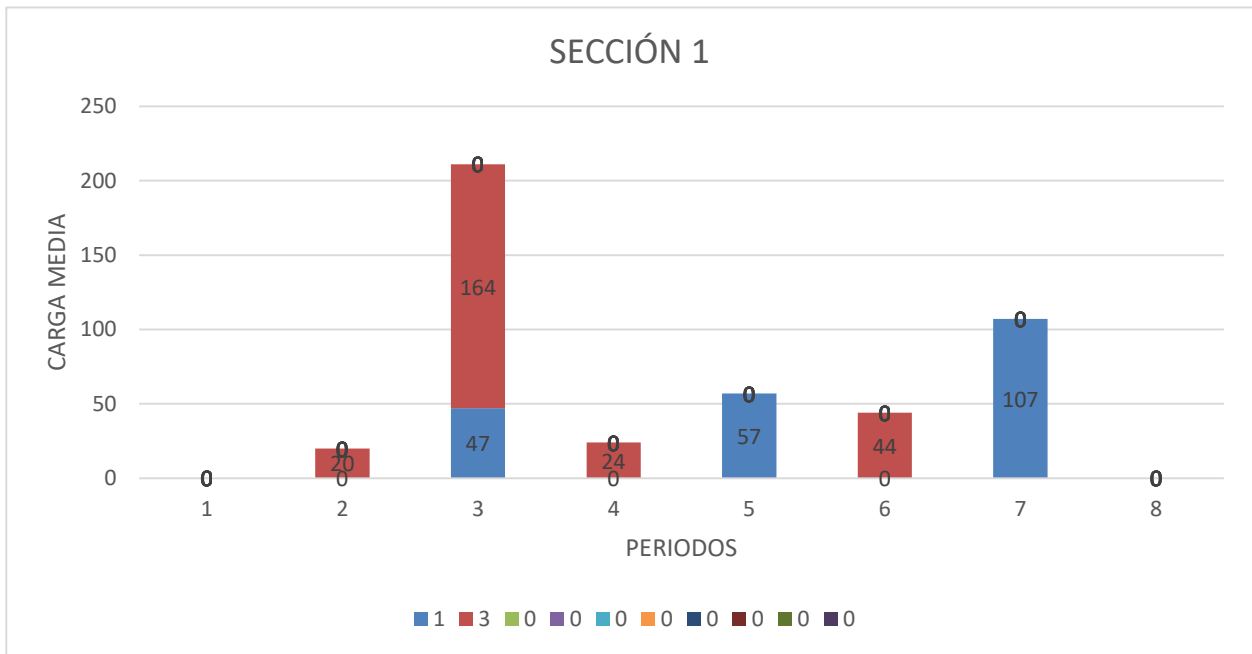


Figura 3.2 Carga media de la sección 1

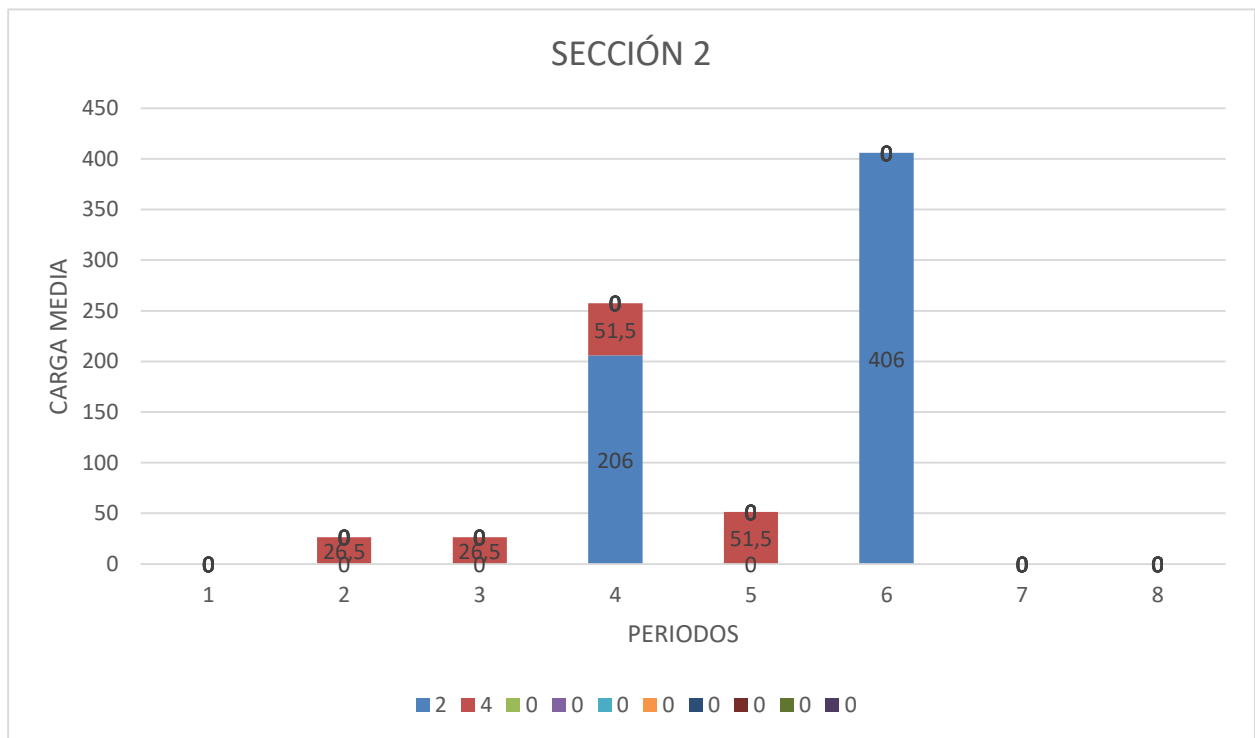


Figura 3.3. Carga media de la sección 2

Como se puede apreciar en la Figura 3.2 la máxima carga de S1 se produce en el período 3 con una carga de 211 mientras que en la S2 se produce en el período 6 con una carga de 406. Por lo contrario, la mínima carga es 20 durante el período 2 en S1 y 26,5 en los períodos 2 y 3 de S2. Asumiendo que la capacidad de S1 es de 150 horas/semana y de S2 es 250 horas/semana, habría un problema de capacidad, pero como hemos mencionado antes, esa escasez de recurso se puede solucionar mediante un aumento de turno de los operarios, horas extras, anticipando los trabajos, etc.

En el ejemplo solo se ha considerado una sola operación por producto. En el caso que hubiera más de un trabajo por producto, se añadiría al maestro de operaciones y se realizarían los siguientes cálculos con dicha suposición.

### 3.2 Trabajo en máquinas

Una vez obtenido las cargas medias de las distintas secciones, el último paso para obtener la planificación de los materiales y de la capacidad, es la secuenciación de los trabajos en las máquinas. Esto consiste en determinar en qué instante y qué trabajo hay que realizar en el horizonte de planificación. Esta secuenciación, no se puede realizar de forma aleatoria, puesto su finalidad es obtener la mejor solución para un objetivo y siempre siguiendo la ruta de fabricación de los productos. En la Tabla 3.5 se ha mostrado la ruta para la fabricación del lote X2.

Tabla 3.5. Ruta de fabricación del lote X2

Producto	Sección	Ruta	Carga
X2	1	3	57
A1	2	2	206
C1	2	1	53

La ruta indica en qué posición hay que realizar los trabajos. En primer lugar, habría que fabricar C1, a continuación, y una vez finalizado C1, se fabricaría A1 y por último X2. No obstante, esta ruta se puede apreciar en la estructura de fabricación como muestra la Figura 2.2.

La representación gráfica de la secuenciación de los trabajos en máquinas viene recogida en el diagrama de Gantt, recogiendo el instante de inicio y fin de cada trabajo en las diferentes secciones. En la Figura 3.4 se puede apreciar la secuenciación del lote X2, cuyo objetivo es más temprana finalización de la fabricación. Se puede llegar a pensar que el objetivo será siempre el mismo, el mínimo tiempo posible de fabricación, pero esto no es así, ya que en ocasiones puede interesar planificar la fabricación para que el producto final este el menor tiempo posible en el almacén. Las fabricas dedicadas a la alimentación es un claro ejemplo de este objetivo.

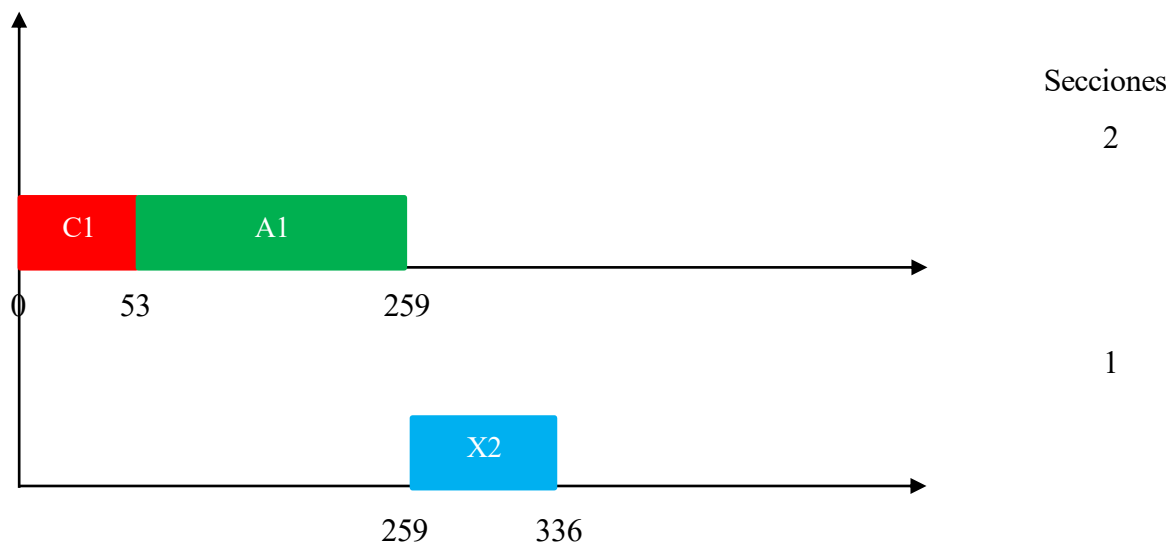


Figura 3.4. Diagrama de Gantt del lote X2

En ocasiones el inicio de la secuenciación no es el instante cero ya que por diversos motivos (p.j. la recepción a tiempo de la materia prima) no se posee los materiales necesarios para la fabricación de un producto.

La búsqueda óptima de la secuenciación no es nada sencilla, si bien, para el caso de tener solo una máquina o una sección existen numerosas reglas:

- Regla SPT: Secuencia los trabajos en orden creciente de su tiempo de operación.
- Regla LPT: El orden de los trabajos en orden decreciente de su tiempo de operación.
- Regla EDD: Secuencia los trabajos de forma creciente a la fecha de entrega de los mismos.
- Regla MST: Secuencia los trabajos de forma creciente según unas holguras. Las holguras se calculan entre la fecha comprometida de entrega y el tiempo de operación de cada trabajo.

Por otro lado, en el caso de que haya más de una máquina o sección de fabricación es muy complejo llegar al óptimo ya que con  $m$  trabajos y  $n$  secciones el número de secuenciaciones posibles es de  $(m!)^n$ . No obstante, en ciertos casos existen reglas para calcular, según qué criterio, el óptimo. Para el criterio de menor tiempo de finalización el algoritmo de Johnson optimiza la secuenciación. El algoritmo de Johnson contiene 2 pasos:

- 1) Seleccionar el menor tiempo de cada trabajo de ambas secciones y ordenar de forma decreciente los tiempos mínimos obtenidos.
- 2) Se realiza la secuenciación: el trabajo que mayor tenga su mínimo entre todos los trabajos se coloca en primer lugar. A continuación, si el siguiente trabajo que mayor tenga su mínimo de

entre todos se produce en la primera sección se coloca delante de los trabajos ya secuenciados y si, por lo contrario, ocurre en la segunda sección se situará detrás de los trabajos secuenciados. Las Tablas 3.7 y 3.8 muestran los pasos del algoritmo de Johnson para los tiempos de operaciones de la Tabla 3.6.

Tabla 3.6. Tiempos de operaciones

Trabajo i	Tiempo máquina 1	Tiempo máquina 2
1	2	5
2	8	9
3	7	7
4	3	2
5	4	1
6	4	3

Tabla 3.7. Paso 1 del algoritmo de Johnson

Trabajo i	Mínimo $T_{i1}, T_{i2}$	Sección
2	8	1
3	7	1
6	3	2
4	2	2
1	2	1
5	1	2

Tabla 3.8. Paso 2 del algoritmo de Johnson

Paso	Subsecuencia
1	2
2	3-2
3	3-2-6
4	3-2-6-4
5	1-3-2-6-4
6	1-3-2-6-4-5

Por tanto, la secuencia final para ambas maquinas sería 1-3-2-6-4-5 y el diagrama de Gantt para esta queda reflejada en la Figura 3.5.

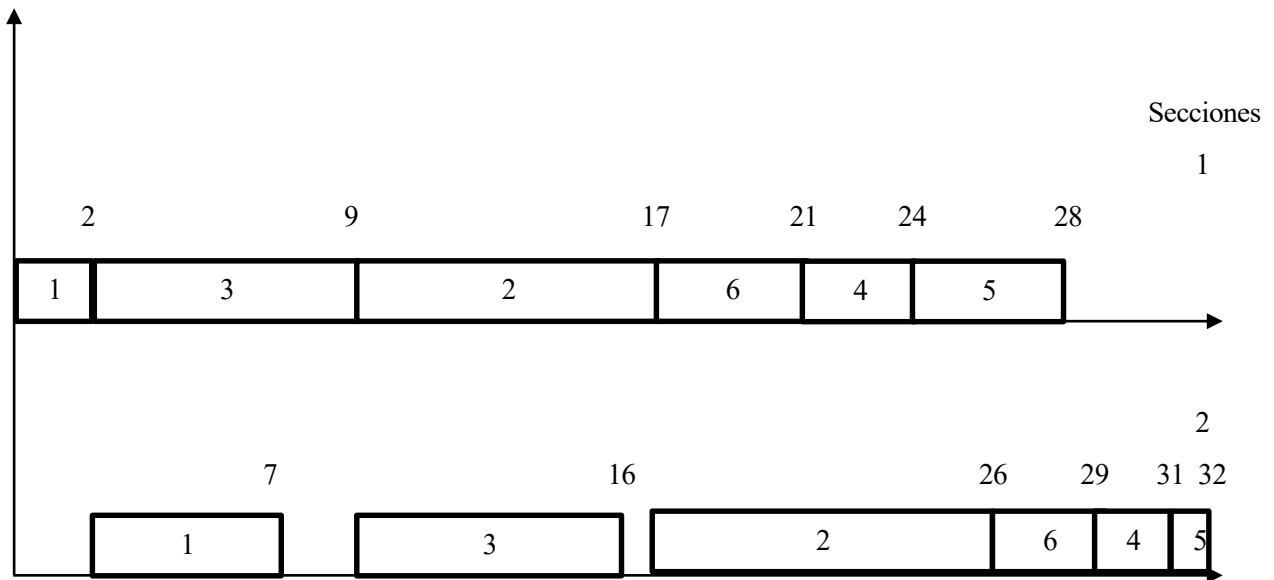


Figura 3.5. Diagrama de Gantt

Sin embargo, aunque haya soluciones óptimas para determinados casos, la realidad es muy distinta y compleja por lo que para calcular una secuenciación se utilizan metaheurísticas o simplemente se hace “probando” las distintas secuencias para intentar conseguir una programación aceptable, pero en ocasiones no óptima.

Además, la capacidad de cada sección no tiene por qué ser la misma por lo que hay que tener cuidado a la hora de la programación que tiempo de inicio y fin correspondería de una sección a otra, es decir si una sección tiene una capacidad de 100 horas/semanas y la otra 90 horas/semana y un trabajo termina en la sección 1 en el período 2 en el instante 5 correspondería en la otra sección el período 2 pero el

instante  $\frac{90 \cdot 5}{100} = 4,5$ .

# 4 MANUAL DE USUARIO

---

En este capítulo se explicará cómo se utiliza la aplicación desarrollada para este proyecto, así como cuales son los datos necesarios y que unidades se deben emplear. Además, se explicará con detalle el orden en el que se deben introducir los diferentes ítems y que problemas se podrán resolver mediante la mismas.

A continuación, se comentarán los resultados obtenidos y la interpretación de los mismos tanto para la planificación de los materiales como de la capacidad.

## 4.1 Alcance de la aplicación

Como se ha comentado anteriormente, hay muchas aplicaciones dedicadas a la resolución de la planificación de la producción y la capacidad. Estas aplicaciones son muy sofisticadas y potentes. En este proyecto, el software realizado es más básico ya que solo resolverá problemas ideales, es decir, sin que ocurra ningún contratiempo para la planificación de la misma.

No obstante, la aplicación resuelve problemas de planificación de materiales con exactitud de hasta diez productos. Con respecto la planificación de la capacidad la resuelve con cierta sencillez. Sin embargo, a pesar de no calcular el óptimo para la secuenciación de los trabajos en las máquinas obtiene una solución fiable y razonablemente aceptable.

Otro aspecto positivo es que en el cálculo de los diagramas de Gantt se puede insertar y calcular hasta un máximo de 10 secciones, aunque es poco probable en la realidad, en un tiempo moderadamente corto.

Por esto, a pesar de realizar el software en MATLAB es bastante amplio y abierto pudiendo cubrir muchas variantes de problemas de planificación de la producción y la capacidad. La aplicación cuenta con dos ficheros:

- 1) Software: Contiene el código que genera la solución en MATLAB.
- 2) Recogida y solución: Fichero Excel en el que se introducen los datos necesarios y se generan los resultados deseados.

Un dato importante es que para poder ejecutar la aplicación se deben seguir una serie de pasos:

- Introducir los datos en Excel.
- Guardar y cerrar el Excel con los datos necesarios.
- Abrir y ejecutar el programa en MATLAB.
- Abrir Excel y visualizar los resultados obtenidos.

## **4.2 Recogida de datos para MRP**

Un tema fundamental para la resolución de la planificación de los materiales es poseer todos los datos necesarios para su posterior cálculo. Como ya se ha mencionado, se necesita tres informaciones para comenzar la planificación: necesidades básicas del producto, estructura de fabricación y datos de stock. Además, para tener una mejor visión de que datos corresponde a cada ítem, encima de cada cuadro hay una celdilla para introducir la referencia de cada producto. La Tabla 2.1 junto a la Tabla 2.3 muestra la estructura de recogida de datos para el sistema MRP.

### **4.2.1 Necesidades básicas del producto final**

Las necesidades básicas es uno de los pilares necesarios para el cálculo del MRP. El cálculo de las necesidades básicas se realiza mediante el Plan Maestro de Producción (PMP) que se encarga de pronosticar los productos finales que hay que realizar y en qué plazo debería estar terminado.

Este dato solo es necesario para el producto final, es decir, para el ejemplo expuesto anteriormente, haría falta las necesidades básicas del producto final 'X'. De estas necesidades básicas, se pueden obtener las necesidades de los productos de nivel inferior.

En la Tabla 4.1 de la página siguiente se puede ver reflejado el cuadro dónde han de ir las necesidades básicas del producto X. El cuadro consta de ocho columnas donde deben ir las necesidades de cada uno de los períodos calculado mediante PMP, introduciendo su valor en las columnas correspondientes y un 0 en el caso de que no se precise fabricar nada en ese periodo. La obtención de estas necesidades excede los límites de este trabajo, por lo que se va suponer que se han calculado mediante el PMP y se tomara como datos preestablecido.

### **4.2.2 Estructura de fabricación**

Como se ha visto en teoría, la estructura de fabricación es primordial, pero es difícil introducir un árbol esquemático puesto que no se sabe de antemano cuantos niveles tendrá ni cuantos productos de cada

nivel habrá. Así que, para facilitar el trabajo para la ejecución de la aplicación, la estructura de fabricación se deberá introducir de manera más numérica.

La Tabla 4.3 muestra el cuadro de introducción de los datos necesario para que la aplicación realice la planificación de los materiales para el producto final, mientras que la Tabla 4.4 hace lo mismo salvo para los diferentes productos de niveles inferiores.

Para introducir la estructura de fabricación se ha de fijar en la primera columna el nivel de cada producto. Anteriormente, se vió que el nivel del producto final era el nivel 0. Sin embargo, para introducir tanto este nivel superior como los inferiores debemos aumentarlos en uno, es decir, para el nivel superior correspondería el nivel 1 y así se iría bajando en los niveles inferiores. Esto es debido a que, si se introduce el nivel superior como nivel 0, genera error en la ejecución del programa según esta codificado el mismo.

Solo con la introducción de los niveles no es suficiente para que el programa “sepa” ni cuál es el nivel superior ni cuantas unidades son necesarias para fabricar una pieza de su referencia superior. En la Tabla 4.4 se puede observar un modelo de cuadro de recogida de datos para los niveles inferiores. En la columna cuyo nombre es “antecesor” se introducirá en producto de nivel superior, haciendo referencia a que número de ítem se refiere y no a que referencia, es decir, el producto X tiene como referencia ‘X’ pero su número de ítem es el 1 ya que se ha introducido en la celdilla de nombre ítem 1.

El último dato para tener completo de forma no esquemática la estructura de fabricación es la cantidad necesaria de cada producto para fabricar una unidad del “antecesor”. Ese valor se deberá introducir en la columna “múltiplo” de la Tabla 4.4.

Estos aspectos no tienen mucho sentido para el producto final, ya que no existe ningún ítem con nivel superior y por eso su ausencia en el cuadro de recogida del ítem 1.

Para los productos inferiores, es necesario incluir más de una fila ya que si un producto es inmediatamente inferior de dos o más referencias como ocurre con el producto B (Ver Figura 2.2) habría que estipular los “múltiplos” necesarios para cada antecesor. Hay que tener en cuenta que, si esto ocurre, hay que incluir en todas las filas el nivel del producto, el “antecesor” y los “múltiplos”. Para el caso contrario bastaría con dejar en blanco las distintas casillas.

En teoría se dijo que había que tener cuidado con el orden en el que se realizaran la planificación puesto que un producto no puede realizarse si no se han realizado todas las referencias de nivel inmediatamente superior. Sin embargo, en esta aplicación no es necesario cumplir esto ya que se ha introducido en el programa unas líneas de código que realiza las operaciones correspondientes para cumplir esta regla. El siguiente código refleja la ordenanza de los productos para que se pueda realizar de forma correcta la planificación de los materiales.



```

while pos < infor(4,11)
    antecesores = 0;
    antecesoreshecho = 0;
    for i=0:1:6
        if infor(8+14*cont+i,10) > 0
            antecesores = antecesores +1;
        end
    end
    for i=0:1:6
        if infor(8+14*cont+i,10) > 0 && (8+14*cont) > 8
            if ordenaitem(infor(8+14*cont+i,10)) > 0
                antecesoreshecho = antecesoreshecho+1;
            end
        end
    end
    if antecesoreshecho == antecesores && ordenaitem(cont+1) == 0
        if pos < infor(4,11)
            pos = pos+1;
        end
        if cont < infor(4,11)
            ordenaitem(cont+1) = pos;
        end
    end
    if cont == infor(4,11)-1 && pos <= infor(4,11)
        cont = 0;
    else
        cont = cont+1;
    end
end
end

```

La función de esta secuencia de código es la ordenación de los productos dependiendo si los productos de nivel superior se han realizado o no. Para ello cuenta primero los números de productos diferente de nivel inmediatamente superior de un ítem. A continuación, chequea cuanto de esos productos de nivel superior ya se ha realizado la planificación. Si ambos coinciden se insertará en un vector la posición que el producto tendrá en la resolución de la planificación. Si no coinciden se continuará el bucle y se ordenará posteriormente a medida que los antecesores se vayan realizado.

Tabla 4.1. Necesidades básicas de X

	1	2	3	4	5	6	7	8
NECESIDADES BASICAS	0	50	0	50	0	50	0	100

Tabla 4.2. Nombre de la referencia de cada producto

ITEM	1	X
------	---	---

Tabla 4.3. Recogida de dato del producto final

NIVEL	EXISTENCIAS	TIPO LOTE	PLAZO ENTREGA	A	VR	STOCK SEGURIDAD	RECEP. PROGRAMADA	SEMANA RECECP	Lote fijo	Demanda anual
1	60	1	1	0	0	0	0	0		

Tabla 4.4. Plantilla modelo de recogida de dato de los productos de nivel inferior

NIVEL	EXISTENCIAS	TIPO LOTE	PLAZO ENTREGA	A	VR	STOCK SEGURIDAD	RECEP. PROGRAMADA	SEMANA RECECP	ANTECESOR	MULTIPOLOS	Lote fijo	Demanda anual

### 4.2.3 Datos sobre el estado de stock

Algo realmente importante es el estado de stock de cada referencia ya que da información de que cantidad hay producida, que política de seguridad de stock tiene la empresa, etc. Por eso es esencial una fácil introducción de los mismos en la plantilla de recogida de datos. De esta manera cada una de las celdas de la Tabla 4.4 corresponde a cada uno de los términos del estado de stock.

De izquierda a derecha se puede observar las siguientes celdillas (salvo las tres mencionadas en el apartado anterior):

- 1) Existencias: en esta columna se introducirá las unidades de las existencias ya fabricadas de cada referencia.
- 2) Tipo de lote: cada ítem tiene un tipo de lotificación el cual se deberá anotar en esta celdilla de manera numérica conforme se refleja en la siguiente tabla.

Tabla 4.5. Referencia numérica de los lotes

Tipo de lote	Referencia numérica
Lote a lote (LaL)	1
Lote fijo (LF)	2
Lote económico (LE)	3
Tiempo de lote económico (LTE)	4
Mínimos costes medios (MCM)	5
Mínimos costes unitarios (MCU)	6
Equilibrado de coste (EC)	7

Así, si nuestro producto tiene un lote del tipo mínimos costes medios, habrá que introducir en la celdilla el valor 5.

Un caso especial sería si el lote es un lote fijo ya que es necesario de qué tamaño es ese lote. Por eso, en la columna con nombre lote fijo se tendrá que añadir el tamaño de lote, mientras que en la columna tipo de lote se pondrá el valor 2.

Por otro lado, como se vió en teoría para calcular el tamaño de lote es necesario saber tres parámetros, los cuales se obtienen por las condiciones del mercado y por estipulación, valor del producto, coste de lote unitario y tasa de mantenimiento anual. Estos parámetros se deberán anotar en dos columnas distintas. Una de ellas, (columna con nombre “A”) corresponde al coste de lote unitario, mientras que la columna con nombre “VR” corresponde al producto de los parámetros de tasa de mantenimiento anual y valor del producto, el cual deberá insertarse de manera que su unidad global del producto sea €/unidad\*período.

- 3) Plazo de entrega: esta columna corresponde al tiempo de aprovisionamiento del lote, por lo que se deberá introducir el valor de los períodos de este plazo.
- 4) Stock de seguridad: como su propio nombre indica en esta celdilla se colocará el valor de las unidades que se desea tener como seguridad para algún contratiempo como rotura de alguna máquina, variabilidad en la demanda prevista, etc.
- 5) Recepciones programadas: esta columna va ligada junto a la siguiente, semana recepción. En la primera de ellas, deberá tener, en el caso que existan, las recepciones programadas prevista antes del comienzo de la planificación. Por su parte en la columna semana de recepción se inscribirá el periodo previsto de la recepción.
- 6) Demanda anual: en esta última columna de recogida de dato, se incluirá la demanda anual de cada producto para facilitar el cálculo de los lotes LE, LTE, MCM, MCU y EC. En el caso de no poder tener este dato, el programa extrapolará la media mediante el valor de los períodos conocido.

### 4.3 Recogida de datos para CRP

Una vez introducido todos los datos para calcular el MRP quedaría anotar solamente los dedicados para la resolución de la planificación de la capacidad. En este apartado se explicará con detalle los pasos a seguir para no obtener soluciones erróneas.

La introducción de los datos para el cálculo del sistema CRP es más sencillas que para el apartado anterior ya que solo hace falta cuatros datos para su resolución. Para cada uno de los ítems se ha de saber en qué sector o maquina se ha de realizar, cuanto se tarda en preparar la sección para su fabricación y que tiempo se precisa para realizar una pieza. Por su parte, es necesario tener la información de las horas máxima de trabajo de cada sección o máquina.

A pesar que la capacidad no dependa de los productos, es necesario anotar en cada uno de ellos la capacidad de la correspondiente sección en la que se fabricara cada producto para la realización de cuando los diagramas de Gantt cambien de período.

Debido a que en cada producto del árbol de producción necesite una sección o máquina para su fabricación, se puede llegar a un escenario extremo en el que se necesite una maquina distinta para cada uno de los productos. Por eso, la aplicación tiene la posibilidad de albergar las mismas secciones que los productos introducidos, es decir, un total de 10.

Tabla 4.6. Recogida de datos para la capacidad

sector	horas preparacion	h/ud producida	Capacidad

La Tabla 4.6 es un modelo del cuadro de recogida de los datos para que el usuario introduzca dichos parámetros necesarios para el cálculo de la planificación de la capacidad. Este cuadro es igual para cada producto.

La primera columna corresponde a la sección en la que cada producto se fabricará. El usuario deberá incluir de forma numérica a que sección ira cada ítem. En el caso que se requiera realizar el MRP, pero no el CRP de un como el caso de las materias primas, se deberá incluir un 0 en la columna sector es esos productos.

La columna siguiente, horas de preparación, se refiere a la hora de set up que se necesita para preparar una sección o máquina para la realización de un lote. Por ejemplo, para pintar un producto es necesario lavar el depósito y cargar la pintura nueva.

La tercera columna, h/ud producida, se refiere a lo que tarda en fabricar una sola unidad de cada producto.

La última columna, se refiere a la capacidad de cada sección. Si varios productos se realizan en la misma sección, se debe rellenar esta columna, aunque ya se haya rellenado la capacidad en otro producto anterior.

Una vez se tenga todos los datos se podrá ejecutar el programa y tener tanto la planificación de los materiales como de la capacidad.

Algo que destacar es que se puede obtener la planificación de materiales y no la de la capacidad si se desea, pero no al contrario. Por lo que la aplicación contempla este hecho y se puede calcular solo la planificación de la capacidad si el usuario lo desea. Para ello deberá dejar en blanco o rellenar con 0 las celdillas de la Tabla 4.6.

#### 4.4 Generación de resultados MRP

Una vez se conozcan todos los datos y se hayan introducido en sus correspondientes lugares como se explicó en los capítulos anteriores, se ejecutará el programa para hallar la solución deseada que se generará en la hoja de Excel con el nombre de “Resultados”.

La interpretación de los resultados es exactamente igual que si se realizase a mano, y acorde con la teoría, para el caso de la planificación de los materiales.

Tabla 4.7. Modelo de tabla de solución de MRP

PERIODO	0	1	2	3	4	5	6	7	8
NECESIDADES BRUTAS	0	0	120	1200	150	0	300	0	0
RECEPCIONES PREVISTAS	0	0	0	0	0	0	0	0	0
INVENTARIO	550	550	430	30	80	80	80	80	80
NECESIDADES NETAS	0	0	0	770	120	0	220	0	0
RECEPCION DE ORDEN	0	0	0	800	200	0	300	0	0
LANZAMIENTO DE ORDEN	0	800	200	0	300	0	0	0	0

Hay varios aspectos significantes que se pueden extraer de la Tabla 4.7. Para comenzar, puede resultar raro que exista un período 0. Esto no se refiere a un período sino es más bien un instante, concretamente el instante inicial donde puede haber diversos estados de stock de la planificación anterior.

Cada una de las filas corresponde a los resultados necesario como se vió en el capítulo dos. En primer lugar, se generará las necesidades brutas de cada producto. En el caso de que el ítem sea el producto final, el programa rellenara esta fila con los datos del plan maestro de producción, mientras que, si es de los productos restantes, corresponderá a la suma de la orden de lanzamiento de los productos de niveles superior en el periodo que se halla lanzado la orden de los mimos.

El segundo de las filas corresponde a las recepciones previstas que sea sabe con anterioridad y es un dato que deberá dar el usuario con anterioridad.

La siguientes corresponde al inventario que como se ha comentado el instante inicial es un dato introducido por el usuario en el apartado de dato. A partir del instante inicial el inventario se va recalculando conforme a:  $\text{Inventario}_i = \text{Inventario}_{i-1} + \text{Recepciones programadas}_i + \text{Recepción de orden}_i - \text{Necesidades Brutas}_i$

Las necesidades netas es la diferencia entre lo materiales que se necesita y los materiales que se han fabricado en períodos anteriores. Si el resultado de  $\text{Necesidades netas}_i = \text{Necesidades brutas}_i - \text{Inventario}_{i-1}$  es menor de 0 quiere decir que se puede cubrir las necesidades brutas con material que hay en el inventario. Si por lo contrario esta diferencia sale negativa habría que realizar un lanzamiento de orden.

Las dos últimas filas son el lanzamiento de orden y la recepción respectivamente. Ambas filas coinciden en el número que unidades necesarias salvo con un desfase de periodos según el tiempo de aprovisionamiento de cada producto.

Todos estos valores de las tablas se generarán automáticamente mediante la aplicación. Además, en cada una de las referencias insertadas en el apartado de recogida de datos, tendrá una tabla asociada de la planificación de los materiales. No habrá confusión puesto encima de cada tabla hay un cuadro con el nombre del ítem de la solución generada.

## 4.5 Generación de resultados CRP

Para finalizar, solo queda por saber cuáles son los resultados de la planificación de la capacidad para poder tomar las correspondientes medidas en el caso que la planificación sobrepase la capacidad de la empresa. Para ello se puede visualizar las dos soluciones del sistema CRP: Diagramas de cargas medias y secuenciación de trabajos o diagrama de Gantt.

### 4.5.1 Cargas medias

En el Excel se puede encontrar una hoja con el nombre de “Gráficas” donde en ella se encuentra la carga media de cada uno de los sectores o máquinas. En ella se puede distinguir once tablas diferentes. Diez de ellas corresponde a los diez posibles sectores que se ha optado incorporar en esta aplicación. La Tabla 4.8 se puede observar la tabla que recoge la carga media del sector 1 para el caso del producto X y cuyo maestro de operaciones es el de la Tabla 3.1.

En la tabla de resolución de las cargas medias la primera columna hace referencia de que producto se trata, usando de referencia el número de ítem que se introdujo en el apartado de recogida de datos, es decir, si el caso del producto final X se introdujo en el Ítem 1 el producto ‘X’ y en el Ítem 3 el producto ‘B’, en la tabla se refleja el trabajo 1 como si fuese ‘X’ y 3 como ‘B’.

Las siguientes columnas se refiere a la carga que cada producto por separado aporta a la sección en los diferentes períodos.

Tabla 4.8. Tabla de generación de resultado de cagas medias por sección

	SECTOR 1							
ITEM	1	2	3	4	5	6	7	8
1	0	0	47	0	57	0	107	0
3	0	20	164	24	0	44	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0

Con respecto a la tabla restante de las once que hay en esta hoja es la correspondiente a la Tabla 4.9 que hace referencia a la conjunción de las cargas medias de todos los sectores y la suma de las cargas de cada uno de los productos de cada sección.

Tabla 4.9. Tabla de generación de cargas medias

CARGA DE SECTORES								
SECTOR	1	2	3	4	5	6	7	8
1	0	20	211	24	57	44	107	0
2	0	26,5	26,5	257,5	51,5	406	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0

En esta ocasión se puede apreciar el total de las cargas medias por período de cada sector de la fábrica por separado para el ejemplo del producto final X.

Además de las tablas, el programa también genera de forma automática y para cada sector por separado el diagrama que muestran las cargas medias. La figura 4.1 y 4.2 muestran los diagramas para este ejemplo. Se puede observar el peso de la carga que genera cada producto.

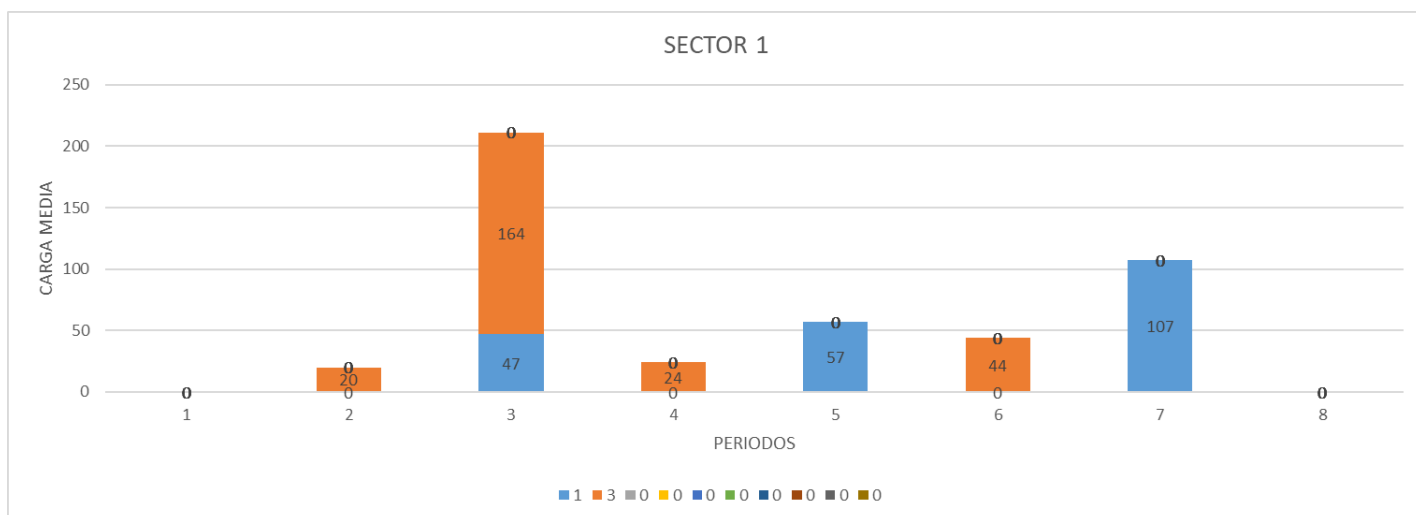


Figura 4.1. Diagrama de cargas media de la sección 1



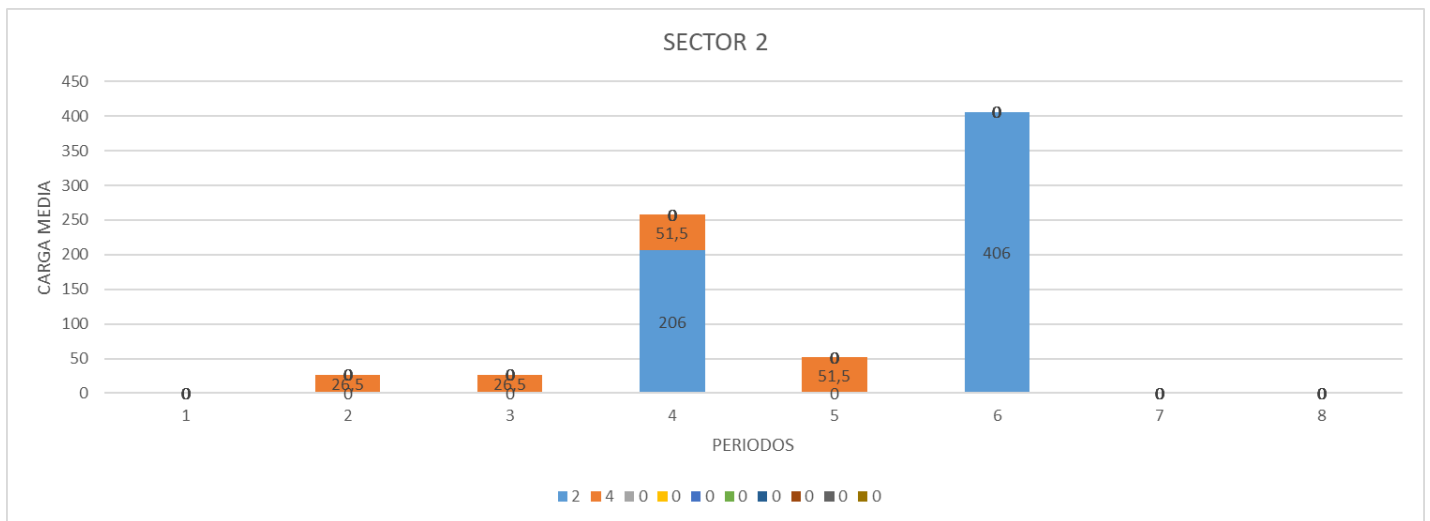


Figura 4.2. Diagrama de cargas media de la sección 2

La leyenda de los diagramas hacer referencia al número de ítem que corresponde cada color, siguiendo el mismo criterio de referencia del número de ítem y los productos.

#### 4.5.2 Secuenciación de los trabajos

Lo último para tener toda la planificación de un proceso es obtener la secuenciación de los trabajos que intervienen en la fabricación de un producto final, sin tener en cuenta las materias primas. A pesar que lo más común es representar la secuenciación de forma gráfica mediante los diagramas de Gantt, en este trabajo no se realizara esta visualización. En su lugar se generará una tabla como muestra la Tabla 4.10 en la que se refleja la secuenciación del periodo de fabricación. Se puede observar que por cada sección o maquina le corresponden cinco filas. La primera de ella corresponde al ítem que se realiza en esa sección. A continuación, la siguiente corresponde al periodo de inicio en el que comenzara la fabricación, mientras que la cuarta fila corresponde al periodo en el que termina de fabricar ese trabajo. Por su parte, la tercera fila muestra el instante dentro del periodo de inicio que comienza a realizarse la fabricación del producto, mientras que la quinta fila se refiere al instante de fin del mismo. Para verse de forma más visual, se puede apreciar que en la Tabla 4.10, el ítem 3 comenzara en el periodo 1, concretamente el instante inicial, y finalizaría en el instante 20 del mismo período.

Al lado de cada sector, se puede visualizar la capacidad de cada periodo. Este valor está presente para que el usuario lo pueda visualizar sin acceder a la hoja de recogida de datos y comprobar que cada periodo tiene una capacidad de las horas expuestas y no puede haber un valor superior a dicha capacidad en sus filas correspondientes. De la misma forma, el usuario puede comprobar que ninguna sección realiza dos trabajos al mismo tiempo.

Tabla 4.10. Secuenciación de los trabajos para el producto X

Sector	Capacidad									
1	150	Item	3	1	3	1	3	3	1	0
		Periodo inicio	1	1	4	4	4	6	7	0
		Intante de inicio	0	20	0	24	81	0	100,4	0
		Periodo de fin	1	1	4	4	5	6	8	0
		Intante de fin	20	67	24	81	95	44	57,4	0
2	250	Item	4	2	4	2	0	0	0	0
		Periodo inicio	1	1	5	6	0	0	0	0
		Intante de inicio	0	53	158,333333	11,3333333	0	0	0	0
		Periodo de fin	1	2	6	7	0	0	0	0
		Intante de fin	53	9	11,3333333	167,333333	0	0	0	0
0	0	Item	0	0	0	0	0	0	0	0
		Periodo inicio	0	0	0	0	0	0	0	0
		Intante de inicio	0	0	0	0	0	0	0	0
		Periodo de fin	0	0	0	0	0	0	0	0
		Intante de fin	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	Item	0	0	0	0	0	0	0	0
		Periodo inicio	0	0	0	0	0	0	0	0
		Intante de inicio	0	0	0	0	0	0	0	0
		Periodo de fin	0	0	0	0	0	0	0	0
		Intante de fin	0	0	0	0	0	0	0	0

Así mismo, todos los trabajos deben cumplir el plan maestro de producción dando como mínimo una solución admisible. La aplicación logra ese objetivo, si bien, en ocasiones puede lograr el óptimo de la secuenciación para el objetivo de realizar todos los trabajos lo más temprano posible. Sin embargo, el óptimo se podrá obtener en escasas ocasiones ya que para fabricaciones de mediana dificultad el tiempo en encontrarlo sería demasiado elevado, por lo que se ha optado por dar prioridad a los lotes que se demandó más temprano.

Además, para una mayor claridad para el usuario, los productos sin ha ordenado siguiente el criterio anterior de prioridad, es decir, para cada sección, se han ordenado los trabajos a realizar de forma creciente en relación al instante de inicio del mismo.

Por otro lado, se han tenido en cuenta la diferencia entre las capacidades de las secciones, es decir, si la capacidad de la sección 1 es 200 y la sección 2 de 100 y un trabajo A, que se ha realizado en la sección 1, terminara en el instante 75 del periodo 3 y otro producto, B (perteneciente a la sección 2), necesitase A para poderse fabricar, el producto B deberá empezar como mínimo en el periodo 3 el instante  $75 * \frac{100}{200} = 37,5$ . Este ejemplo se puede apreciar en la Tabla 4.10 en el que en la sección 2 el trabajo 4 empieza en instante 158,33 debido a que debe fabricarse tras finalizar el trabajo 3 de la sección 1 que termina en el instante 95 del periodo 5.

Al igual que en el apartado anterior, la referencia numérica de los ítems es acorde al orden de introducción de los productos en el apartado de recogida de datos.

# 5 CONCLUSIONES

---

En este capítulo se comentarán los aspectos más importantes derivados del presente Trabajo Fin de Grado. Por un lado, cuáles han sido los procesos más críticos en la elaboración de la aplicación y a continuación, la viabilidad de la aplicación. Por último, se sugerirán algunos aspectos para posibles mejoras del mismo para proyectos futuros.

La realización de este trabajo ha tenido varias fases. Una de ellas es la elaboración de la plantilla para introducir los datos y para poder visualizar los resultados generados de la aplicación. No obstante, lo más crítico y primordial ha sido la elaboración del código, ya que es el trabajo más tedioso del mismo. Sin embargo, dentro del código se pueden diferenciar varias partes, la del cálculo del MRP y la del CRP. Esta última ha sido la más crítica porque para el problema de secuenciación de los trabajos hay que tener en cuenta que alcanzar el óptimo sería tan pretencioso como imposible obteniendo una solución admisible, en un tiempo de ejecución razonable. Con respecto al cálculo del MRP se obtiene la planificación de materiales de forma ideal por lo que no ha generado ninguna duda su elaboración. Para la hipótesis y limitaciones mencionadas durante el trabajo, la aplicación cumple todas las restricciones y es capaz de obtener la planificación de materiales con exactitud para diez productos y una gran solución para la secuenciación de los trabajos en las máquinas. Para comprobar esto, se han realizado numerosas simulaciones con distintas estructuras de fabricación, estado de stock, plan maestro de producción y ordenes de producción, es decir, variando todos los parámetros de entrada para corroborar que los resultados obtenidos son los correctos. Así, se puede garantizar la total funcionalidad de la aplicación, siempre respetando las hipótesis de idealidad.

No obstante, existen oportunidades de mejoras. Por un lado, se pueden retocar los aspectos para tener en cuenta errores originados de forma probabilística como las mermas de los materiales, la eficiencia de los operarios, paradas por prevención y corrección de máquinas, y todos los aspectos que pueden fallar dentro de un proceso de fabricación, además de incorporar otras formas de resolver el problema de la capacidad de forma finita.

## 6 BIBLIOGRAFÍA

---

Dopacio, C. I. (s.f.). *Diccionario empresarial*. Obtenido de Wolters Kluwer:

<http://diccionarioempresarial.wolterskluwer.es>

*Estadística estructural de empresas: sector industrial*. (2018). Obtenido de [www.ine.es](http://www.ine.es)

Guriérrez, E. (2017). *Lecciones de fiabilidad industrial*. Sevilla.

Onieva, L., Escudero, A., Cortés, P., Muñozuri, J., & Guadix, J. (2017). *Diseño y gestión de sistemas productivos*. Dextra.

Vangermeersch, R. (1998). *Total capacity management: optimizing at the operational, tactical and strategic levels*.

# 7 ANEXO

## 7.1 Anexo 1. Archivo Excel de entrada.

El Excel de entrada consta de una serie de diez tablas idénticas, una para cada uno de los productos involucrados en el árbol de producción. En dichas tablas se puede observar todos los datos necesarios para la ejecución del método MRP.

ITEM 8												
NIVEL	EXISTENCIAS	TIPO LOTE	PLAZO ENTREGA	A	VR	STOCK SEGURIDAD	RECEP. PROGRAMADA	SEMANA RECECP	ANTECESOR	MULTIPOLOS	Lote fijo	Demanda anual

No obstante, para el caso del producto final es diferente ya que es necesario tener las necesidades básicas del mismo. Para ello es necesario dos tablas de introducción de los datos, una para las necesidades básicas del producto y otra para los datos de stock.



## 7.2 Anexo 2. Código en Matlab.

En este capítulo se plasmará el código utilizado para la realización del este trabajo. El código consta de un módulo principal que realiza la planificación de materiales y de la capacidad. El valor de la matriz A es el mismo que el de la Tabla 4.7 y ese se volcara en su correspondiente celdilla de solución del problema.

```
iniciarmatrices;
infor = xlsread('TFG.xlsx','Datos','A1:O144');
rp = [0 0 0 0 0 0 0 0 0];
cont = 0;
if infor(8,1) == 1
    nb = infor(4,1:9);
end
for j=0:1:6
    if infor(8+14*cont+j,8) > 0
        rp(infor(8+14*cont+j,9)+1) = infor(8+14*cont+j,8);
    end
end
exis = infor(8+14*cont,2);
ss = infor(8+14*cont,7);
pe = infor(8+14*cont,4);
datos = infor(8,5:6);
```



```

t1 = infor(8,10);
if infor(8+14*cont,3) == 1
    A = lal(nb,rp,exis,ss,pe);
elseif infor(8+14*cont,3) == 2
    A = lf(nb,rp,exis,ss,pe,t1);
elseif infor(8+14*cont,3) == 3
    A = lec(nb,rp,exis,ss,pe,datos,cont);
elseif infor(8+14*cont,3) == 4
    A = tle(nb,rp,exis,ss,pe,datos,cont);
elseif infor(8+14*cont,3) == 5
    A = mcm(nb,rp,exis,ss,pe,datos);
elseif infor(8+14*cont,3) == 6
    A = mcu(nb,rp,exis,ss,pe,datos);
elseif infor(8+14*cont,3) == 7
    A = ec(nb,rp,exis,ss,pe,datos);
end
xlswrite('TFG.xlsx',A,'Resultados','D9');
ordenaitem = [1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 ];
cont = 0;
pos = 1;
while pos < infor(4,11)
    antecesores = 0;
    antecesoreshecho = 0;
    for i=0:1:6
        if infor(8+14*cont+i,10) > 0

```

```

        antecesores = antecesores +1;
    end
end
for i=0:1:6
    if infor(8+14*cont+i,10) > 0 && (8+14*cont) > 8
        if ordenaitem(infor(8+14*cont+i,10)) > 0
            antecesoreshecho = antecesoreshecho+1;
        end
    end
end
if antecesoreshecho == antecesores && ordenaitem(cont+1) == 0
    if pos < infor(4,11)
        pos = pos+1;
    end
    if cont < infor(4,11)
        ordenaitem(cont+1) = pos;
    end
end
if cont == infor(4,11)-1 && pos <= infor(4,11)
    cont = 0;
else
    cont = cont+1;
end
end
cont2=2;

```

```

while cont2<= infor(4,11)
    for i=2:1:infor(4,11)
        if ordenaitem(i) == cont2
            cont = i-1;
        end
    end
end
nb=[0 0 0 0 0 0 0 0 0 0];
rp=[0 0 0 0 0 0 0 0 0 0];
infor2=xlsread('TFG.xlsx','Resultados','A1:L140');
for j=0:1:6
    if infor(8+14*cont+j,10) > 0
        nb= nb + infor(8+14*cont+j,11)*infor2(9+14*(infor(8+14*cont+j,10)-1),1:9);
    end
end
for j=0:1:6
    if infor(8+14*cont+j,8) > 0
        rp(infor(8+14*cont+j,9)+1) = infor(8+14*cont+j,8);
    end
end
exis = infor(8+14*cont,2);
ss = infor(8+14*cont,7);
pe = infor(8+14*cont,4);
datos = infor(8+14*cont,5:6);
if infor(8+14*cont,3) == 2
    tl = infor(8+14*cont,12);
end

```

```

end
if infor(8+14*cont,3) == 1
    A = lal(nb,rp,exis,ss,pe);
elseif infor(8+14*cont,3) == 2
    A = lf(nb,rp,exis,ss,pe,t1);
elseif infor(8+14*cont,3) == 3
    A = lec(nb,rp,exis,ss,pe,datos,cont);
elseif infor(8+14*cont,3)== 4
    A = tle(nb,rp,exis,ss,pe,datos,cont);
elseif infor(8+14*cont,3) == 5
    A = mcm(nb,rp,exis,ss,pe,datos);
elseif infor(8+14*cont,3) == 6
    A = mcu(nb,rp,exis,ss,pe,datos);
elseif infor(8+14*cont,3) == 7
    A = ec(nb,rp,exis,ss,pe,datos);
end
if cont == 1
    xlswrite('TFG.xlsx',A,'Resultados','D23');
elseif cont == 2
    xlswrite('TFG.xlsx',A,'Resultados','D37');
elseif cont == 3
    xlswrite('TFG.xlsx',A,'Resultados','D51');
elseif cont == 4
    xlswrite('TFG.xlsx',A,'Resultados','D65');
elseif cont == 5

```

```

        xlswrite('TFG.xlsx',A,'Resultados','D79');
elseif cont == 6
        xlswrite('TFG.xlsx',A,'Resultados','D93');
elseif cont == 7
        xlswrite('TFG.xlsx',A,'Resultados','D107');
elseif cont == 8
        xlswrite('TFG.xlsx',A,'Resultados','D121');
elseif cont == 9
        xlswrite('TFG.xlsx',A,'Resultados','D135');
end
cont2=cont2+1;
end
diagrama
gantt
disp('fin')

```

De igual forma, cada tamaño de lote se calcula de forma distinta por lo que se ha generado una función para su ejecución en el programa principal. Se puede apreciar los distintos lotes a partir de la etiqueta que del nombre del tipo del lote.

- Lote a lote.

```
function A=lal(NB,RP,DISP0,SS,PE)

    A(1,:)=NB(:);
    A(2,:)=RP(:);
    A(3,1)=DISP0;
    A(4,:)=0;
    A(5,:)=0;
    A(6,:)=0;
    for i=2:1:length(NB)
        A(3,i)=A(3,i-1)-A(1,i)+A(2,i);
        if (A(3,i))<0
            A(4,i) = -A(3,i)+SS;
        else if A(3,i)<SS && A(3,i)>=0
            A(4,i)=SS-A(3,i);
        else
            A(4,i)=0;
        end
    end
    A(5,i)=A(4,i);
    if A(5,i) >0 && i-PE>0
        A(6,i-PE)=A(5,i);
    end
end
```

```

        A(3,i)=A(3,i)+A(5,i);
    end
end

```

- Lote fijo

```

function A=lf(NB,RP,DISP0,SS,PE,TL)
    A(1,:)=NB(:);
    A(2,:)=RP(:);
    A(3,1)=DISP0;
    A(4,:)=0;
    A(5,:)=0;
    A(6,:)=0;
    for i=2:1:length(NB)
        A(3,i)=A(3,i-1)-A(1,i)+A(2,i);
        if (A(3,i))<0
            A(4,i) = -A(3,i)+SS;
        else if A(3,i)<SS && A(3,i)>=0
            A(4,i)=SS-A(3,i);
        else
            A(4,i)=0;
        end
    end
    if A(4,i)>0
        while A(5,i)<A(4,i)
            A(5,i)=A(5,i)+TL;
        end
    end
end

```

```

        end
    end
    if A(5,i) > 0 && i-PE>0
        A(6,i-PE)=A(5,i);
    end
    A(3,i)=A(3,i)+A(5,i);
end
end

```

- Lote económico.

```

function A=lec(NB,RP,DISP0,SS,PE,DATOS,CONT)
    A(1,:)=NB(:);
    A(2,:)=RP(:);
    A(3,1)=DISP0;
    A(4,:)=0;
    A(5,:)=0;
    A(6,:)=0;
    demanda=0;
    infor = xlsread('TFG.xlsx','Datos','A1:O144');
    if infor(8+14*CONT,13) > 0
        demanda = infor(8+14*CONT,13);
        demanda = demanda/52;
    else
        for i=2:1:length(NB)

```



```

        demanda=demanda+NB(i);
    end
    demanda=demanda/(length(NB)-1);
end
TL=round(sqrt((2*DATOS(1)*demanda)/(DATOS(2))));
for i=2:1:length(NB)
    A(3,i)=A(3,i-1)-A(1,i)+A(2,i);
    if (A(3,i))<0
        A(4,i) = -A(3,i)+SS;
    else if A(3,i)<SS && A(3,i)>=0
        A(4,i)=SS-A(3,i);
    else
        A(4,i)=0;
    end
end
if A(4,i)>0
    A(5,i)=TL;
end
if A(5,i) > 0 && i-PE>0
    A(6,i-PE)=A(5,i);
end
    A(3,i)=A(3,i)+A(5,i);
end
end
end

```

- Tiempo de lote económico.

```
function A=tle(NB,RP,DISP0,SS,PE,DATOS,CONT)
    A(1,:)=NB(:);
    A(2,:)=RP(:);
    A(3,1)=DISP0;
    A(4,:)=0;
    A(5,:)=0;
    A(6,:)=0;
    demanda=0;
    cont=1;
    infor = xlsread('TFG.xlsx','Datos','A1:O144');
    if infor(8+14*CONT,13) > 0
        demanda = infor(8+14*CONT,13);
        demanda = demanda/52;
    else
        for i=2:1:length(NB)
            demanda=demanda+NB(i);
        end
        demanda=demanda/(length(NB)-1);
    end
    Tle=sqrt((2*DATOS(1))/(demanda*DATOS(2)));
    TLE(1)=round(Tle);
    if TLE(1) - Tle > 0
```

```

        TLE(2) = TLE(1)-1;
else
        TLE(2) = TLE(1)+1;
end
ctmin=400;
for i=1:1:2
    ct= DATOS(1)/TLE(i)+(demanda*TLE(i)*DATOS(2))/2;
    if ct < ctmin
        ctmin=ct;
        Tle=TLE(i);
    end
end
for i=2:1:length(NB)
    A(3,i)=A(3,i-1)-A(1,i)+A(2,i);
    if (A(3,i))<0
        A(4,i) = -A(3,i)+SS;
    else if A(3,i)<SS && A(3,i)>=0
        A(4,i)=SS-A(3,i);
    else
        A(4,i)=0;
    end
end
if A(4,i) > 0
    A(5,i)=A(4,i);
    for j=1:1:Tle-1

```

```

        if i+j<=length(NB)
            A(5,i)=A(5,i)+NB(i+j);
        end
    end
end
if A(5,i) > 0 && i-PE>0
    A(6,i-PE)=A(5,i);
end
A(3,i)=A(3,i)+A(5,i);
if i== cont*Tle+1
    cont=cont+1;
end
end
disp(Tle);
end

```

- Mínimos costes medios

```

function A=mcm(NB,RP,DISP0,SS,PE,DATOS)
    A(1,:)=NB(:);
    A(2,:)=RP(:);
    A(3,1)=DISP0;
    A(4,:)=0;

```

```

A(5,:)=0;
A(6,:)=0;
for i=2:1:length(NB)
    A(3,i)=A(3,i-1)-A(1,i)+A(2,i);
    if (A(3,i))<0
        A(4,i) = -A(3,i)+SS;
    else if A(3,i)<SS && A(3,i)>=0
        A(4,i)=SS-A(3,i);
    else
        A(4,i)=0;
    end
end
if A(4,i)>0
    cmmin=200;
    cm=0;
    j=0;
    while cm<=cmmin && (length(NB)-i>=j)
        if NB(i+j)>0
            cont=0;
            cm=DATOS(1);
            while cont<=j
                cm=cm+NB(i+cont)*DATOS(2)*cont;
                cont=cont+1;
            end
            cm=cm/cont;

```

```

        if cm<=cmmin
            cmmin=cm;
            A(5,i)=A(5,i)+NB(i+j);
        end
    end
    j=j+1;
end
end
if A(5,i) > 0 && i-PE>0
    A(6,i-PE)=A(5,i);
end
A(3,i)=A(3,i)+A(5,i);
end
end
end

```

- Mínimos costes unitarios.

```

function A=mcu(NB,RP,DISP0,SS,PE,DATOS)
    A(1,:)=NB(:);
    A(2,:)=RP(:);
    A(3,1)=DISP0;
    A(4,:)=0;
    A(5,:)=0;
    A(6,:)=0;

```

```

for i=2:1:length(NB)
    A(3,i)=A(3,i-1)-A(1,i)+A(2,i);
    if (A(3,i))<0
        A(4,i) = -A(3,i)+SS;
    else if A(3,i)<SS && A(3,i)>=0
        A(4,i)=SS-A(3,i);
    else
        A(4,i)=0;
    end
end
if A(4,i)>0
    cumin=200;
    cu=0;
    j=0;
    while cu<=cumin && (length(NB)-i>=j)
        if NB(i+j)>0
            cont=0;
            cu=DATOS(1);
            sumanb=0;
            while cont<=j
                cu=cu+NB(i+cont)*DATOS(2)*cont;
                sumanb=sumanb+NB(i+cont);
                cont=cont+1;
            end
            cu=cu/sumanb;
        end
    end
end

```

```

        if cu<=cumin
            cumin=cu;
            A(5,i)=A(5,i)+NB(i+j);
        end
    end
    j=j+1;
end
end
if A(5,i) > 0 && i-PE>0
    A(6,i-PE)=A(5,i);
end
A(3,i)=A(3,i)+A(5,i);
end
end
end

```

- Equilibrado de costes

```

function A=ec(NB,RP,DISP0,SS,PE,DATOS)
    A(1,:)=NB(:);
    A(2,:)=RP(:);
    A(3,1)=DISP0;
    A(4,:)=0;
    A(5,:)=0;

```



```

A(6,:)=0;
for i=2:1:length(NB)
    A(3,i)=A(3,i-1)-A(1,i)+A(2,i);
    if (A(3,i))<0
        A(4,i) = -A(3,i)+SS;
    else if A(3,i)<SS && A(3,i)>=0
        A(4,i)=SS-A(3,i);
    else
        A(4,i)=0;
    end
end
if A(4,i)>0
    ecmin=200;
    ec=0;
    j=0;
    while ec<=ecmin && (length(NB)-i)>=j
        if NB(i+j)>0
            cont=0;
            ec=DATOS(1);
            while cont<=j
                ec=ec-NB(i+cont)*DATOS(2)*cont;
                cont=cont+1;
            end
            ec=abs(ec);
            if ec<=ecmin

```

```

                ecmin=ec;
                A(5,i)=A(5,i)+NB(i+j);
            end
        end
        j=j+1;
    end
end
if A(5,i) > 0 && i-PE>0
    A(6,i-PE)=A(5,i);
end
A(3,i)=A(3,i)+A(5,i);
end
end
end

```

Por su parte, el módulo de 'iniciarmatrices' es para poner el valor a 0 de todas las celdillas de obtención de resultados ya que, si de un problema a otro hay menos producto, borrar la solución del problema anterior para evitar fallos del programa y confusión del usuario. La codificación de este módulo sería:

```

function iniciarmatrices
A(1:6,1:9) = 0;
B(1:10,1:8) = 0;
C(1:10,1:9) = 0;
D(1:20,1:20) = 0;
E(1:4,1:2) = 0;
xlswrite('TFG.xlsx',A,'Resultados','D9');

```

```
xlswrite('TFG.xlsx',A,'Resultados','D23');
xlswrite('TFG.xlsx',A,'Resultados','D37');
xlswrite('TFG.xlsx',A,'Resultados','D51');
xlswrite('TFG.xlsx',A,'Resultados','D65');
xlswrite('TFG.xlsx',A,'Resultados','D79');
xlswrite('TFG.xlsx',A,'Resultados','D93');
xlswrite('TFG.xlsx',A,'Resultados','D107');
xlswrite('TFG.xlsx',A,'Resultados','D121');
xlswrite('TFG.xlsx',A,'Resultados','D135');
xlswrite('TFG.xlsx',B,'Graficas','D8');
xlswrite('TFG.xlsx',C,'Graficas','C28');
xlswrite('TFG.xlsx',C,'Graficas','C48');
xlswrite('TFG.xlsx',C,'Graficas','C68');
xlswrite('TFG.xlsx',C,'Graficas','C88');
xlswrite('TFG.xlsx',C,'Graficas','C108');
xlswrite('TFG.xlsx',C,'Graficas','C128');
xlswrite('TFG.xlsx',C,'Graficas','C148');
xlswrite('TFG.xlsx',C,'Graficas','C168');
xlswrite('TFG.xlsx',C,'Graficas','C188');
xlswrite('TFG.xlsx',C,'Graficas','C208');
xlswrite('TFG.xlsx',D,'Gantt','E7');
xlswrite('TFG.xlsx',E,'Gantt','B7');
```

No obstante, los módulos del sistema CRP son más complejo y por eso se ha optado por realizar dos. Uno para el cálculo de las cargas medias y otro para la secuenciación de los trabajos o diagrama de Gantt. El primero de ellos es el llamado ‘diagrama’ que se encarga de la resolución del problema de cargas medias y cuyo código es:

```
function diagrama
infor1 = xlsread('TFG.xlsx','Datos','A1:S138');
infor2 = xlsread('TFG.xlsx','Resultados','A1:L140');
A(1:10,1:10) = 0;
for i=1:1:infor1(4,11)
    if infor1(8+14*(i-1),15) > 0
        A(i,1) = infor1(8+14*(i-1),15);
        A(i,2) = infor1(8+14*(i-1),4);
    end
    for j=0:1:7
        A(i,3+j) = infor2(9+14*(i-1),2+j);
        if A(i,3+j) > 0
            A(i,3+j) = A(i,3+j)*infor1(8+14*(i-1),17)+infor1(8+14*(i-1),16);
        end
    end
end

end
B(1:10,1:9) = 0;
for i=1:1:infor1(4,11)
    B(i,1) = A(i,1);
```

```

if A(i,2) > 0
    carga = 0;
    for j=1:1:8
        if A(i,2+j) > 0
            carga = A(i,2+j)/A(i,2);
            for k=0:1:A(i,2)-1
                B(i,1+j+k) = carga;
            end
        end
    end
end
end
end
C(1:10,1:8) = 0;
for i=1:1:10
    for j=1:1:8
        if A(i,1) > 0
            C(A(i,1),j) = C(A(i,1),j) + B(i,j+1);
        end
    end
end
end
cont1 = 1;
for i=1:1:10
    E(1:10,1:9) = 0;
    cont = 1;
    for j=1:1:10

```

```

    if B(j,1) == cont1
        E(cont,1) = j;
        E(cont,2:9) = B(j,2:9);
        cont = cont+1;
    end
end
if cont1 == 1
    xlswrite('TFG.xlsx',E,'Graficas','C28');
elseif cont1 == 2
    xlswrite('TFG.xlsx',E,'Graficas','C48');
elseif cont1 == 3
    xlswrite('TFG.xlsx',E,'Graficas','C68');
elseif cont1 == 4
    xlswrite('TFG.xlsx',E,'Graficas','C88');
elseif cont1 == 5
    xlswrite('TFG.xlsx',E,'Graficas','C108');
elseif cont1 == 6
    xlswrite('TFG.xlsx',E,'Graficas','C128');
elseif cont1 == 7
    xlswrite('TFG.xlsx',E,'Graficas','C148');
elseif cont1 == 8
    xlswrite('TFG.xlsx',E,'Graficas','C168');
elseif cont1 == 9
    xlswrite('TFG.xlsx',E,'Graficas','C188');
elseif cont1 == 10

```

```

        xlswrite('TFG.xlsx',E,'Graficas','C208');
    end
    cont1 = cont1+1;
end
xlswrite('TFG.xlsx',C,'Graficas','D8');

```

Para finalizar el código, el modulo ‘gantt’ realiza la secuenciación de los trabajos. En este código se ha decidido apaisar la página para mejor visualización del código.

```

function gantt
infor1 = xlsread('TFG.xlsx','Datos','A1:T144');
infor2 = xlsread('TFG.xlsx','Resultados','A1:L140');
nitem = 0;
for i=1:1:9
    if infor2(9,i) > 0
        nitem = nitem + 1;
    end
end
V(1:6*nitem,1:infor1(4,11)*infor1(4,11)) = 0;
A(1:6*nitem,1:infor1(4,11)*infor1(4,11)) = 0;
cont=0;
for i=1:1:9
    if infor2(9,i) > 0
        V(6*cont+1,1) = 1;
    end
end

```

```

V(6*cont+2,1) = 1;
V(6*cont+3,1) = i-1;
V(6*cont+4,1) = infor2(9,i);
V(6*cont+5,1) = infor2(9,i)*infor1(8,17)+infor1(8,16);
cont = cont + 1;
end
end
for i=1:1:infor1(4,11)*infor1(4,11)
for cont=0:1:nitem-1
if V(6*cont+2,i) > 0
for j=1:1:infor1(4,11)
for n=0:1:6
if infor1(8+14*(j-1)+n,1) > 0
if infor1(8+14*(j-1)+n,10) == V(6*cont+2,i) && infor2(9+14*(j-1),V(6*cont+3,i)-
infor1(8+14*(j-1),4)+1) > 0
A(6*cont+2,i+j-1+n*infor1(4,11)) = j;
A(6*cont+3,i+j-1+n*infor1(4,11)) = V(6*cont+3,i)-infor1(8+14*(j-1),4);
A(6*cont+4,i+j-1+n*infor1(4,11)) = infor2(9+14*(j-1),V(6*cont+3,i)-
infor1(8+14*(j-1),4)+1);
if infor1(8+14*(j-1),15) > 0
A(6*cont+5,i+j-1+n*infor1(4,11)) = infor2(9+14*(j-1),V(6*cont+3,i)-
infor1(8+14*(j-1),4)+1)*infor1(8+14*(j-1),17)+infor1(8+14*(j-1),16);
end
end
end
end
end

```



```

        end
    end
end
end
V(:,2:infor1(4,11)*infor1(4,11))=A(:,2:infor1(4,11)*infor1(4,11));
end
for cont=0:1:nitem-1
    par = 2;
    for i=2:1:infor1(4,11)*infor1(4,11)
        if A(6*cont+2,i) > 0
            V(6*cont+1,i) = par;
            par = par + 1;
        end
    end
end
end
for cont=0:1:nitem-1
    for i=1:1:infor1(4,11)*infor1(4,11)
        for j=1:1:infor1(4,11)*infor1(4,11)
            if V(6*cont+2,j) > 0
                for n=0:1:6
                    if infor1(8+14*(V(6*cont+2,j)-1),1) > 0
                        if infor1(8+14*(V(6*cont+2,j)-1)+n,10) == V(6*cont+2,i)
                            &&infor1(8+14*(V(6*cont+2,j)-1),4)+ V(6*cont+3,j) == V(6*cont+3,i)
                                V(6*cont+6,j) = V(6*cont+1,i);
                            end
                        end
                    end
                end
            end
        end
    end
end
end

```

```

                end
            end
        end
    end
end
end
end
aux(1:6) = 0;
for cont=0:1:nitem-1
    for i=1:1:infor1(4,11)*infor1(4,11)
        for j=1:1:infor1(4,11)*infor1(4,11)-1
            if V(6*cont+3,j) < V(6*cont+3,j+1)
                aux(1) = V(6*cont+1,j+1);
                aux(2) = V(6*cont+2,j+1);
                aux(3) = V(6*cont+3,j+1);
                aux(4) = V(6*cont+4,j+1);
                aux(5) = V(6*cont+5,j+1);
                aux(6) = V(6*cont+6,j+1);
                V(6*cont+1,j+1) = V(6*cont+1,j);
                V(6*cont+2,j+1) = V(6*cont+2,j);
                V(6*cont+3,j+1) = V(6*cont+3,j);
                V(6*cont+4,j+1) = V(6*cont+4,j);
                V(6*cont+5,j+1) = V(6*cont+5,j);
                V(6*cont+6,j+1) = V(6*cont+6,j);
                V(6*cont+1,j) = aux(1);
                V(6*cont+2,j) = aux(2);
            end
        end
    end
end

```

```

        V(6*cont+3,j) = aux(3);
        V(6*cont+4,j) = aux(4);
        V(6*cont+5,j) = aux(5);
        V(6*cont+6,j) = aux(6);
    end
end
end
end
B(1:2*nitem,1:infor1(4,11)*infor1(4,11)) = 0;
for cont=0:1:nitem-1
    for i=1:1:infor1(4,11)*infor1(4,11)
        nanteces = 0;
        if V(6*cont+1,i) > 0
            for j=1:1:infor1(4,11)*infor1(4,11)
                if V(6*cont+6,j) == i
                    nanteces = nanteces + 1;
                end
            end
        end
        B(2*cont+1,i) = nanteces;
    end
end
end
end
for cont=0:1:nitem-1
    for i=1:1:infor1(4,11)*infor1(4,11)
        if V(6*cont+1,i) > 0

```



```

C(3*(infor1(8+14*(V(6*cont+2,i)-1),15)-1)+1,cont2) = V(6*cont+2,i);
C(3*(infor1(8+14*(V(6*cont+2,i)-1),15)-1)+3,cont2) = V(6*cont+5,i);
flag = 0;
flag2 = 0;
for j=1:1:infor1(4,11)*infor1(4,11)-1
    if C(3*(infor1(8+14*(V(6*cont+2,i)-1),15)-1)+2,j+1)-C(3*(infor1(8+14*(V(6*cont+2,i)-1),15)-1)+2,j)-V(6*cont+5,j) >= V(6*cont+5,i) + (B(2*cont+2,i)-(C(3*(infor1(8+14*(V(6*cont+2,i)-1),15)-1)+2,j)+V(6*cont+5,j))) && flag == 0
        C(3*(infor1(8+14*(V(6*cont+2,i)-1),15)-1)+2,cont2) = B(2*cont+2,i);
        flag = 1;
    elseif flag == 0 && B(2*cont+2,i) < C(3*(infor1(8+14*(V(6*cont+2,i)-1),15)-1)+3,j+1)
        B(2*cont+2,i) = C(3*(infor1(8+14*(V(6*cont+2,i)-1),15)-1)+3,j+1);
        flag2 = 1;
    end
end
C(3*(infor1(8+14*(V(6*cont+2,i)-1),15)-1)+3,cont2) = C(3*(infor1(8+14*(V(6*cont+2,i)-1),15)-1)+3,cont2) +C(3*(infor1(8+14*(V(6*cont+2,i)-1),15)-1)+2,cont2);
flag3 = 0;
for n=1:1:20
    if C(3*(infor1(8+14*(V(6*cont+2,i)-1),15)-1)+2,cont2) < n*infor1(8+14*(V(6*cont+2,i)-1),18) && flag3 == 0
        C1(2*(infor1(8+14*(V(6*cont+2,i)-1),15)-1)+1,cont2) = n;
        flag3 = 1;
    end
end

```

```

flag3 = 0;
for n=1:1:20
    if C(3*(infor1(8+14*(V(6*cont+2,i)-1),15)-1)+3,cont2) < n*infor1(8+14*(V(6*cont+2,i)-
1),18) && flag3 == 0
        C1(2*(infor1(8+14*(V(6*cont+2,i)-1),15)-1)+2,cont2) = n;
        flag3 = 1;
    end
end
for k=0:1:nitem-1
    for j=1:1:infor1(4,11)*infor1(4,11)
        if V(6*k+1,j) > 0
            if infor1(8+14*(V(6*k+2,j)-1),15) > 0
                if infor1(8+14*(V(6*cont+2,i)-1),15) == infor1(8+14*(V(6*k+2,j)-1),15)
                    if B(2*k+1,j) > 0 && flag2 == 0
                        B(2*k+2,j) = B(2*k+2,j) + V(6*cont+5,i);
                    end
                end
            end
            if V(6*cont+6,i) == j && k == cont
                if B(2*k+2,j) < (C1(2*(infor1(8+14*(V(6*cont+2,i)-1),15)-1)+2,cont2)-
1)*infor1(8+14*(V(6*k+2,j)-1),18)+(infor1(8+14*(V(6*k+2,j)-1),18)/infor1(8+14*(V(6*cont+2,i)-
1),18))*(C(3*(infor1(8+14*(V(6*cont+2,i)-1),15)-1)+3,cont2)-(C1(2*(infor1(8+14*(V(6*cont+2,i)-
1)+2,cont2)-1)*infor1(8+14*(V(6*cont+2,i)-1),18)))
                    B(2*k+2,j) = (C1(2*(infor1(8+14*(V(6*cont+2,i)-1),15)-
1)+2,cont2)-1)*infor1(8+14*(V(6*k+2,j)-1),18)+(infor1(8+14*(V(6*k+2,j)-1),18)/infor1(8+14*(V(6*cont+2,i)-

```







```

C2(5*cont+2,1:20) = C1(2*cont+1,1:20);
C2(5*cont+3,1:20) = C(3*cont+2,1:20);
C2(5*cont+4,1:20) = C1(2*cont+2,1:20);
C2(5*cont+5,1:20) = C(3*cont+3,1:20);
end
for i=0:1:3
    for j=1:1:20
        if C2(5*i+1,j) > 0
            C2(5*i+3,j) = C2(5*i+3,j)-(C2(5*i+2,j)-1)*infor1(8+14*(C2(5*i+1,j)-1),18);
            C2(5*i+5,j) = C2(5*i+5,j)-(C2(5*i+4,j)-1)*infor1(8+14*(C2(5*i+1,j)-1),18);
        end
    end
end
D(1:4,1:2) = 0;
for i=1:1:4
    if C2(5*(i-1)+1,1) > 0
        D(i,1) = infor1(8+14*(C2(5*(i-1)+1,1)-1),15);
        D(i,2) = infor1(8+14*(C2(5*(i-1)+1,1)-1),18);
    end
end
xlswrite('TFG.xlsx',C2,'Gantt','E7');
for i=1:1:4
    if i==1
        xlswrite('TFG.xlsx',D(1,1:2),'Gantt','B7');
    end
end

```

```
if i==2
    xlswrite('TFG.xlsx',D(2,1:2), 'Gantt', 'B12');
end
if i==3
    xlswrite('TFG.xlsx',D(3,1:2), 'Gantt', 'B17');
end
if i==4
    xlswrite('TFG.xlsx',D(4,1:2), 'Gantt', 'B22');
end
end
```

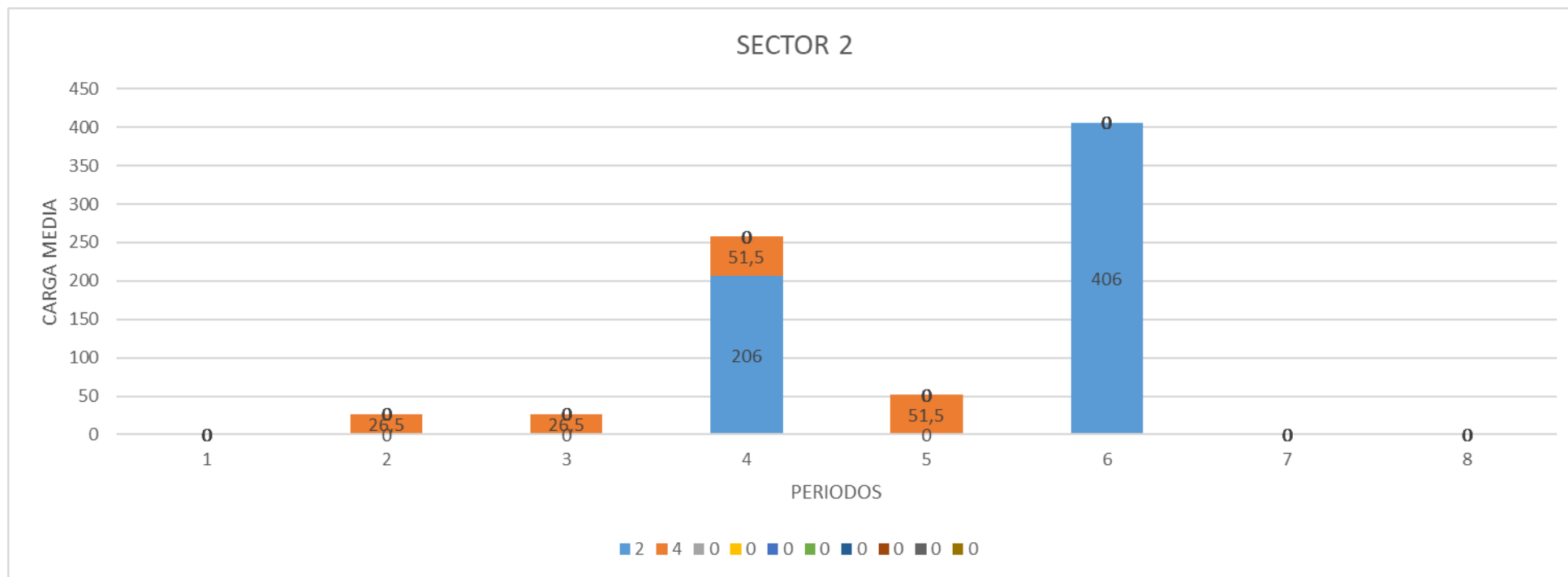
### 7.3 Anexo 3. Archivo Excel de salida.

Para la visualización de los resultados, hay un Excel (el mismo que para la recogida de datos) en el que se pueden ver los resultados del problema introducido por el usuario. La primera hoja, llamada Resultados, se puede apreciar una serie de tablas que refleja la solución de la planificación de la producción para cada ítem.

				ITEM 6	N				
SEMANA	0	1	2	3	4	5	6	7	8
NECESIDADES BRUTAS	0	0	40	400	50	0	100	0	0
RECEPCIONES PREVISTAS	0	0	0	0	0	0	0	0	0
INVENTARIO	1000	1000	960	560	510	510	410	410	410
NECESIDADES NETAS	0	0	0	0	0	0	0	0	0
RECEPCION DE ORDEN	0	0	0	0	0	0	0	0	0
LANZAMIENTO DE ORDEN	0	0	0	0	0	0	0	0	0

En la siguiente hoja, “Graficas”, se recogerán en una serie de tablas la distribución de cargas medias de cada sección y la proporción que cada ítem genera en estas. En la hoja hay un total de diez secciones distintas. No obstante, no es necesario utilizar todas las secciones, rellenándose a cero aquellas que no se utilicen. Justo a la derecha de cada de cada tabla se puede apreciar unos gráficos que reflejan lo recogido en las tablas. En la siguiente página muestra la tabla y la gráfica que recogen esta distribución de cargas.

		SECTOR 2							
		1	2	3	4	5	6	7	8
ITEM	2	0	0	0	206	0	406	0	0
	4	0	26,5	26,5	51,5	51,5	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0



En la última hoja del Excel, “Gantt” se puede encontrar se encuentra una secuenciación posible al problema que introdujo el usuario. En ella se aprecia, por secciones, el producto, el período y tiempo tanto de inicio y como de fin de ítem en cuestión.

Sector	Capacidad											
1	150	Item	3	1	3	1	3	3	1	0	0	0
		Periodo inicio	1	1	4	4	4	6	7	0	0	0
		Intante de inicio	0	20	0	24	81	0	100,4	0	0	0
		Periodo de fin	1	1	4	4	5	6	8	0	0	0
		Intante de fin	20	67	24	81	95	44	57,4	0	0	0
2	250	Item	4	2	4	2	0	0	0	0	0	0
		Periodo inicio	1	1	5	6	0	0	0	0	0	0
		Intante de inicio	0	53	158,333333	11,3333333	0	0	0	0	0	0
		Periodo de fin	1	2	6	7	0	0	0	0	0	0
		Intante de fin	53	9	11,3333333	167,333333	0	0	0	0	0	0
0	0	Item	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		Periodo inicio	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		Intante de inicio	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		Periodo de fin	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		Intante de fin	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	Item	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		Periodo inicio	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		Intante de inicio	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		Periodo de fin	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		Intante de fin	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0