



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial

Diseño e implantación de un sistema de Planificación de la  
Producción de  
una empresa fabricante de equipos para el sector  
farmacéutico, alimentario y  
cosmético

Trabajo Fin de Máster

Máster Universitario en Ingeniería Industrial (Acceso desde Grado  
I. Mecánica)

AUTOR/A: Navarro Serrano, Alejandro Antonio

Tutor/a: Andrés Bello, Javier

CURSO ACADÉMICO: 2023/2024

## **AGRADECIMIENTOS**

*Quiero agradecer a mis padres, Josefa y Antonio, a mi hermana, Jessica, a mi novia, Teresa y a mi sobrino, Daniel, por darme el cariño y apoyo que necesitaba en todo momento, sin ellos este trabajo no hubiera sido posible.*

*Alejandro.*

## **RESUMEN**

La creciente competitividad entre las empresas industriales hace cada vez más importante la Organización de la Producción. La Planificación de la Producción es clave para competir en costes y en la calidad de los productos y de los servicios ofrecidos. En este sentido, el presente Trabajo Final de Máster pretende diseñar un sistema de planificación que permita hacer un uso eficiente de los recursos disponibles, entre otros aspectos. En este trabajo se desarrolla en detalle un sistema de Planificación de la Producción para una empresa manufacturera de equipos para el sector farmacéutico, alimentario y cosmético. En la empresa se fabrican equipos capaces de producir jarabes, bebidas alcohólicas, cremas, pastas, etc. Para diseñar el sistema se van a emplear herramientas de programación lineal que permitan optimizar los procesos. En el diseño se tendrán en cuenta las características particulares de la empresa en relación con la demanda de los clientes, las especificaciones de los productos, la plantilla de empleados, los costes, tiempos de proceso, etc. Así mismo, se pretende validar el sistema para comprobar el correcto funcionamiento para su aplicación en la empresa mediante la implantación con una prueba piloto.

**Palabras Clave:** Dirección de Operaciones, Planificación de la Producción, Industria, Investigación Operativa, Algoritmos Heurísticos, Programación Lineal.

## **RESUM**

La creixent competitivitat entre les empreses industrials fa cada vegada més important l'Organització de la Producció. La Planificació de la Producció és clau per a competir en costos i en la qualitat dels productes i dels servicis oferits. En este sentit, el present Treball Final de Màster pretén dissenyar un sistema de planificació que permeta fer un ús eficient dels recursos disponibles, entre altres aspectes. En este treball es desenvolupa detalladament un sistema de Planificació de la Producció per a una empresa manufacturera d'equips per al sector farmacèutic, alimentari i cosmètic. En l'empresa es fabriquen equips capaços de produir xarops, begudes alcohòliques, cremes, pastes, etc. Per a dissenyar el sistema s'empraran ferramentes de programació lineal que permeten optimitzar els processos. En el disseny es tindran en compte les característiques particulars de l'empresa en relació amb la demanda dels clients, les especificacions dels productes, la plantilla d'empleats, els costos, temps de procés, etc. Així mateix, es pretén validar el sistema per a comprovar el correcte funcionament per a la seua aplicació en l'empresa mitjançant la implantació amb una prova pilot.

**Paraules Clau:** Direcció d'Operacions, Planificació de la Producció, Indústria, Investigació Operativa, Algorismes Heurístics, Programació Lineal.

## **ABSTRACT**

The growing competitiveness among industrial companies makes Production Organisation more and more important. Production Planning is key to compete in costs and in the quality of the products and services offered. In this sense, this Master's thesis aims to design a planning system that allows for an efficient use of available resources, among other aspects. In this work, a Production Planning system is developed in detail for a company that manufactures equipment for the pharmaceutical, food and cosmetics sector. The company manufactures equipment capable of producing syrups, alcoholic beverages, creams, pastes, etc. To design the system, linear programming tools will be used to optimise the processes. The design will take into account the particular characteristics of the company in relation to customer demand, product specifications, staffing levels, costs, process times, etc. It is also intended to validate the system to check the correct functioning for its application in the company by means of a pilot test implementation.

**Keywords:** Operations Management, Production Planning, Industry, Operations Research, Heuristic Algorithms, Linear Programming.

## **ÍNDICE DE CONTENIDO**

<b>I. MEMORIA DESCRIPTIVA</b> .....	12
<b>CAPÍTULO 1. PRESENTACIÓN DEL TRABAJO FIN DE MÁSTER</b> .....	13
1. Introducción .....	13
2. Justificación del Trabajo Fin de Máster .....	14
3. Motivación personal .....	14
4. Objetivo del Trabajo Fin de Máster .....	14
5. Resultados esperados con el Trabajo Fin de Máster .....	15
6. Estructura del Trabajo Fin de Máster .....	15
7. Conclusiones .....	16
<b>CAPÍTULO 2. DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA</b> .....	17
1. Introducción .....	17
2. Arquitectura del establecimiento industrial .....	17
3. Actividad económica de la empresa. Modelo de negocio .....	19
4. Descripción de los productos ofertados .....	21
5. Conclusiones .....	22
<b>CAPÍTULO 3. MARCO TEÓRICO</b> .....	23
1. Introducción .....	23
2. Proceso de Planificación de la Producción .....	23
3. Conclusiones .....	31
<b>CAPÍTULO 4. METODOLOGÍA PROPUESTA PARA EL DESARROLLO DEL SISTEMA</b> .....	32
1. Introducción .....	32
2. Metodología .....	32
3. Conclusiones .....	35
<b>CAPÍTULO 5. PLAN AGREGADO DE LA PRODUCCIÓN</b> .....	36
1. Introducción .....	36
2. Desarrollo de la herramienta de planificación agregada .....	36
3. Caso de implantación de la herramienta en la empresa .....	46
4. Conclusiones .....	53
<b>CAPÍTULO 6. PLAN MAESTRO DE LA PRODUCCIÓN</b> .....	55
1. Introducción .....	55
2. Desarrollo de la herramienta de planificación maestra .....	55
3. Caso de implantación de la herramienta en la empresa .....	59
4. Conclusiones .....	66
<b>CAPÍTULO 7. PLAN DE REQUERIMIENTOS DE MATERIALES</b> .....	67
1. Introducción .....	67
2. Desarrollo de la herramienta de planificación de materiales .....	67

3. Caso de implantación de la herramienta en la empresa .....	71
4. Conclusiones .....	75
<b>CAPÍTULO 8. PROGRAMACIÓN DE LA PRODUCCIÓN .....</b>	<b>76</b>
1. Introducción .....	76
2. Desarrollo de la herramienta de programación de la producción .....	76
3. Caso de implantación de la herramienta en la empresa .....	80
4. Conclusiones .....	82
<b>CAPÍTULO 9. CONCLUSIONES DEL TRABAJO .....</b>	<b>83</b>
1. Introducción .....	83
2. Conclusiones .....	83
<b>CAPÍTULO 10. OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE .....</b>	<b>84</b>
<b>CAPÍTULO 11. LÍNEAS DE TRABAJO FUTURAS .....</b>	<b>85</b>
1. Introducción .....	85
2. Propuesta de acciones futuras .....	85
3. Conclusiones .....	85
<b>CAPÍTULO 12. BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>86</b>
<b>II. PRESUPUESTO .....</b>	<b>87</b>
<b>CAPÍTULO 1. OBJETO .....</b>	<b>88</b>
<b>CAPÍTULO 2. COSTES .....</b>	<b>88</b>
1. Costes del trabajo personal .....	88
2. Costes por utilización de equipos informáticos .....	88
3. Costes por licencias de software .....	89
4. Importe total .....	90
<b>III. ANEJOS .....</b>	<b>91</b>
<b>CAPÍTULO 1. CASOS DE APLICACIÓN DEL SISTEMA Y ALGORITMOS .....</b>	<b>92</b>
1. Caso de información de pedidos .....	92
2. Caso de resumen de pedidos e histórico .....	92
3. Caso de listas de materiales .....	93
4. Caso de hojas de ruta .....	94
5. Caso de Plan Agregado de la Producción .....	94
6. Caso de Planificación Maestra de la Producción .....	98
7. Caso de Planificación de Requerimientos de Materiales .....	102
8. Caso de Programación de la Producción .....	114
9. Código de Matlab del algoritmo para el Programa de Producción. ....	116
<b>CAPÍTULO 2. RESUMEN DE INFORMACIÓN DE LOS ODS .....</b>	<b>124</b>

## **ÍNDICE DE FIGURAS**

Figura 1. Dimensiones generales de la nave industrial. ....	18
Figura 2. Dimensiones generales de la oficina. ....	18
Figura 3. Dimensiones generales y layout de la zona de producción de la empresa. ....	19
Figura 4. Máquinas para mantenimiento .....	19
Figura 5. Productos fabricados en la empresa .....	22
Figura 6. Esquema general del proceso de Planificación de la Producción. ....	25
Figura 7. Productos de fabricación contra stock .....	27
Figura 8. Productos de montaje contra pedido .....	27
Figura 9. Productos de fabricación bajo pedido .....	27
Figura 10. Ejemplos para el caso monomáquina.....	29
Figura 11. Ejemplos para el caso de taller de flujo.....	29
Figura 12. Ejemplos para el caso de taller de máquinas en paralelo .....	30
Figura 13. Ejemplos para el caso de taller general. ....	30
Figura 14. Software empleado para el desarrollo del sistema de Planificación de la Producción .....	33
Figura 15. Esquema general del funcionamiento del sistema.....	34
Figura 16. Familias de productos de la empresa. ....	36
Figura 17. Evolución de la demanda de las familias de productos.....	46
Figura 18. Resultados de producción e inventario del Plan Agregado. ....	51
Figura 19. Evolución de la plantilla de trabajadores.....	52
Figura 20. Evolución del número de máquinas y de puestos de trabajo.....	52
Figura 21. Evolución del inventario. ....	53
Figura 22. Costes totales por periodo. ....	53
Figura 23. Resultados del Plan Maestro para el producto F1.....	63
Figura 24. Resultados del Plan Maestro para el producto F2.....	64
Figura 25. Resultados del Plan Maestro para el producto A1. ....	64
Figura 26. Resultados del Plan Maestro para el producto A2. ....	65
Figura 27. Resultados del Plan Maestro para el producto C1. ....	65
Figura 28. Resultados del Plan Maestro para el producto C2. ....	66
Figura 29. Lista de materiales del producto F1. ....	71
Figura 30. Lista de materiales del producto F2. ....	71
Figura 31. Lista de materiales del producto A1.....	72
Figura 32. Lista de materiales del producto A2.....	72
Figura 33. Lista de materiales del producto C1. ....	72
Figura 34. Lista de materiales del producto C2. ....	73
Figura 35. Resultados de componentes de Nivel 1. ....	74

Figura 36. Resultados de componentes de Nivel 2. ....	75
Figura 37. Resultados de componentes de Nivel 3. ....	75
Figura 38. Modo de empleo de la herramienta de Programación de la Producción.....	77
Figura 39. Algoritmo heurístico planteado para Taller general flexible.....	79
Figura 40. Datos de órdenes de fabricación. ....	80
Figura 41. Topología y condiciones del taller.....	80
Figura 42. Diagrama de Gantt de la secuencia de operaciones con la regla SOT. ....	81
Figura 43. Diagrama de Gantt de la secuencia de operaciones con la regla EDD.....	81
Figura 44. Objetivos de desarrollo sostenible relacionados con el trabajo.....	84

## **ÍNDICE DE TABLAS**

Tabla 1. Ejemplos de empresas con mejoras en su funcionamiento.....	13
Tabla 2. Características de la nave industrial.....	17
Tabla 3. Modelo de negocio Canvas. ....	21
Tabla 4. Jerarquía de colores de las casillas del sistema. ....	33
Tabla 5. Necesidades de producción del Plan Agregado. ....	46
Tabla 6. Horas contratadas y productivas.....	47
Tabla 7. Horas necesarias sección almacén de materias primas.....	47
Tabla 8. Horas necesarias sección torneado. ....	47
Tabla 9. Horas necesarias sección fresado. ....	47
Tabla 10. Horas necesarias sección plegado. ....	47
Tabla 11. Horas necesarias sección cilindrado. ....	48
Tabla 12. Horas necesarias sección montaje.....	48
Tabla 13. Horas necesarias sección soldadura. ....	48
Tabla 14. Horas necesarias sección pulido.....	48
Tabla 15. Horas necesarias sección almacén de productos terminados. ....	48
Tabla 16. Horas necesarias en oficina. ....	48
Tabla 17. Número de trabajadores fijos. ....	48
Tabla 18. Número máximo de trabajadores.....	48
Tabla 19. Número máximo de trabajadores por turno. ....	49
Tabla 20. Máxima producción en horas extra y subcontratación.....	49
Tabla 21. Máximo de horas ociosas por periodo.....	49
Tabla 22. Número máximo de puestos.....	49
Tabla 23. Número actual de puestos.....	49
Tabla 24. Plantilla inicial. ....	49

Tabla 25. Inventario inicial.....	50
Tabla 26. Inventario máximo total.....	50
Tabla 27. Coste de horas regulares.....	50
Tabla 28. Coste de horas extra. ....	50
Tabla 29. Coste extra de horas ociosas.....	50
Tabla 30. Costes de subcontratar.....	50
Tabla 31. Coste de inventariar. ....	50
Tabla 32. Coste de contratación. ....	50
Tabla 33. Coste de despido.....	50
Tabla 34. Coste de activación de turnos.....	50
Tabla 35. Costes de adquisición de puestos de trabajo.....	51
Tabla 36. Precios de venta de puestos de trabajo. ....	51
Tabla 37. Resultados numéricos del Plan Agregado .....	51
Tabla 38. Productos de catálogo. ....	59
Tabla 39. Necesidades de producción de F1. ....	60
Tabla 40. Necesidades de producción de F2. ....	60
Tabla 41. Necesidades de producción de A1.....	60
Tabla 42. Necesidades de producción de A2.....	60
Tabla 43. Necesidades de producción de C1. ....	60
Tabla 44. Necesidades de producción de C2. ....	60
Tabla 45. Datos del producto F1.....	61
Tabla 46. Datos del producto F2.....	61
Tabla 47. Datos del producto A1. ....	61
Tabla 48. Datos del producto A2. ....	62
Tabla 49. Datos del producto C1. ....	62
Tabla 50. Datos del producto C2. ....	62
Tabla 51. Tiempos de sección para cada producto. ....	62
Tabla 52. Dato de número de turnos de producción. ....	63
Tabla 53. Datos de secciones de producción.....	63
Tabla 54. Necesidades de producción de los productos finales. ....	73
Tabla 55. Condiciones de los componentes. ....	74
Tabla 56. Costes del trabajo personal. ....	88
Tabla 57. Costes de amortización mensual de equipos informáticos.....	89
Tabla 58. Costes de amortización totales.....	89
Tabla 59. Costes de consumo energético totales. ....	89
Tabla 60. Costes totales por utilización de equipos informáticos. ....	89
Tabla 61. Costes totales por licencias de software.....	89

Tabla 62. Importe total.....	90
Tabla 63. Resumen de información de los ODS.....	124

## **ÍNDICE DE ECUACIONES**

Ecuación 1. Variable auxiliar de horas ociosas de oficina en el periodo i. ....	41
Ecuación 2. Variable auxiliar de horas ociosas de producción en el periodo i. ....	41
Ecuación 3. Variable auxiliar de inventario total al final del periodo i. ....	41
Ecuación 4. Variable auxiliar de horas necesarias de mano de obra en producción por unidad de familia j.....	41
Ecuación 5. Restricciones de trabajadores de oficina a jornada completa. ....	42
Ecuación 6. Restricciones de trabajadores de oficina a media jornada. ....	42
Ecuación 7. Restricciones de trabajadores de producción a jornada completa. ....	42
Ecuación 8. Restricciones de trabajadores de producción a media jornada.....	42
Ecuación 9. Restricciones activación turnos de oficina.....	42
Ecuación 10. Restricciones activación turnos de producción.....	43
Ecuación 11. Restricción producción regular en oficina.....	43
Ecuación 12. Restricción producción regular en zona de producción.....	43
Ecuación 13. Restricción producción en horas extra.....	43
Ecuación 14. Restricción producción subcontratada.....	43
Ecuación 15. Restricciones de horas ociosas.....	43
Ecuación 16. Restricciones de inventario. ....	44
Ecuación 17. Restricción balance de puestos de trabajo de la sección k en el periodo i. ....	44
Ecuación 18. Restricción capacidad productiva mínima de la sección k en el periodo i. ....	44
Ecuación 19. Restricción número máximo de máquinas de la sección k en el periodo i. ....	44
Ecuación 20. Restricción relación entre trabajadores y puestos de trabajo. ....	44
Ecuación 21. Variable auxiliar de coste de producción regular. ....	45
Ecuación 22. Variable auxiliar de coste de producción en horas extra. ....	45
Ecuación 23. Variable auxiliar de coste de producción subcontratada. ....	45
Ecuación 24. Variable auxiliar de coste de ociosidad. ....	45
Ecuación 25. Variable auxiliar de coste de contrataciones.....	45
Ecuación 26. Variable auxiliar de coste de despidos. ....	45
Ecuación 27. Variable auxiliar de coste de inventariar. ....	45
Ecuación 28. Variable auxiliar de coste fijo de turnos activos.....	45
Ecuación 29. Variable auxiliar de coste de adquisición de puestos.....	46
Ecuación 30. Variable auxiliar de coste de venta de puestos. ....	46
Ecuación 31. Función objetivo del Plan Agregado. ....	46

Ecuación 32. Variable auxiliar de necesidades brutas del periodo i dentro de la barrera de demanda. ....	56
Ecuación 33. Variable auxiliar de necesidades brutas en el periodo i fuera de la barrera de demanda. ....	56
Ecuación 34. Restricción de balance de inventario. ....	57
Ecuación 35. Carga de trabajo en la sección k en el periodo i. ....	57
Ecuación 36. Capacidad de trabajo de la sección k en el periodo i. ....	57
Ecuación 37. Restricción de tamaño mínimo de lote en el periodo i. ....	58
Ecuación 38. Restricción de stock de seguridad del periodo i. ....	58
Ecuación 39. Restricción de pedido múltiplo. ....	58
Ecuación 40. Restricción de inventario máximo en el periodo i. ....	58
Ecuación 41. Restricciones de capacidad de trabajo de todas las secciones de la empresa. ....	58
Ecuación 42. Variable auxiliar de coste de lanzamiento del producto h en el periodo i. ....	59
Ecuación 43. Variable auxiliar de coste de almacenamiento del producto h en el periodo i. ....	59
Ecuación 44. Función objetivo del Plan Maestro. ....	59
Ecuación 45. Inventario proyectado en el periodo i+1 del componente h. ....	69
Ecuación 46. Necesidades netas en el periodo i del componente h. ....	69
Ecuación 47. Restricción de tamaño mínimo de lote en periodo i del componente h. ....	69
Ecuación 48. Restricción de stock de seguridad en periodo i. ....	70
Ecuación 49. Restricción de tamaño de lote múltiplo en el periodo i del componente h. ....	70
Ecuación 50. Restricción de inventario máximo en el periodo i del componente h. ....	70
Ecuación 51. Restricciones de capacidad de todas las secciones en el periodo i. ....	70
Ecuación 52. Restricción de impedimento de recepción en el periodo i del componente h. ....	70
Ecuación 53. Variable auxiliar de coste de lanzamiento del componente h en el periodo i. ....	71
Ecuación 54. Variable auxiliar de coste de almacenamiento del componente h en el periodo i. ....	71
Ecuación 55. Función objetivo del Plan de Requerimientos de Materiales. ....	71

## **I. MEMORIA DESCRIPTIVA**

## CAPÍTULO 1. PRESENTACIÓN DEL TRABAJO FIN DE MÁSTER

### 1. Introducción

#### 1.1 Importancia de la toma de decisiones

La optimización de los procesos de producción industrial está a la orden del día en la gran mayoría de las empresas manufactureras debido a la creciente competencia que experimenta el mercado. Es por eso por lo que es de vital importancia prestar atención y dar más protagonismo si cabe a las tareas relacionadas con la organización de los procesos industriales.

La toma de decisiones en la organización de las empresas industriales es vital, ya que afecta a múltiples aspectos. Esta, por un lado, debe de encaminarse a la optimización de los recursos de la organización, disminuyendo los costes y aumentando la eficiencia. Por otro lado, dicha toma de decisiones tiene un impacto en la productividad de la producción, lo cual da a la empresa un mayor poder para competir en el mercado.

Además, aparte de mejorar la eficiencia general de los procesos de la empresa, la toma de decisiones ayuda a la dirección de la organización a gestionar los riesgos potenciales que pueden afectar la producción en algún momento, como crisis financieras, aumento de costes de materias primas, cambios legislativos o de gobierno, emergencias sanitarias, etc.

Así mismo, entre todas las demás consecuencias positivas que tiene la toma de decisiones, cabe destacar la capacidad de innovar y mejorar en los procesos, debido al profundo conocimiento que se llega a adquirir del propio sistema de la empresa.

Son muchos los ejemplos en los que las empresas reducen sus costes y aumentan sus beneficios gracias a que se planteasen con seriedad planificar sus actividades económicas. En la Tabla 1 se incluyen algunos ejemplos de empresas que hay logrado aumentar la eficiencia en cuanto a su funcionamiento.

Organización	Mejoras introducidas	Ahorros anuales
<i>Samsung electronics</i> 	Reducción de tiempos de fabricación y reducción de inventarios.	200 millones de \$
<i>General Motors</i> 	Aumento de la eficiencia de las líneas de producción.	90 millones de \$
<i>United Airlines</i> 	Plan para los programas de trabajo de los empleados en aeropuertos y oficinas.	6 millones de \$

Tabla 1. Ejemplos de empresas con mejoras en su funcionamiento. Fuente: Hillier, Liberman [1].

### **1.2 Historia de la dirección de operaciones**

La planificación de la producción se engloba dentro del campo de la dirección de operaciones, la cual se apoya en la investigación operativa, una actividad que utiliza el método científico para resolver problemas.

Los orígenes de la investigación operativa se encuentran en los primeros intentos de emplear el método científico para gestionar una empresa. Pero la primera aparición explícita de las denominadas actividades de investigación de operaciones se remonta a la Segunda Guerra Mundial, cuando las administraciones militares de Estados Unidos y Gran Bretaña pidieron a una serie de científicos que aplicaran el método científico a problemas militares planteados respecto a la asignación de recursos escasos a maniobras y operaciones. Tras la guerra, la investigación de operaciones comenzó a ser aplicada en ámbitos civiles como la gestión empresarial. Así mismo, durante el auge de la computación y los ordenadores en el siglo XX, llegó a manos de millones de personas la capacidad de resolver problemas operativos muy complejos de forma muy rápida, lo cual revolucionó el empleo de técnicas relacionadas con la investigación operativa. Hillier, Lieberman (2015) [1]

## **2. Justificación del Trabajo Fin de Máster**

Entre las competencias de un Ingeniero Industrial está la capacidad de gestionar técnica y económicamente instalaciones y empresas, así como la capacidad de dirigir plantas industriales. Estas competencias y otras se han reforzado y consolidado tras la realización de este Trabajo Fin de Máster. Además, los conocimientos en la planificación de la producción tienen un gran calado en el mundo profesional del entorno industrial, ya que toda empresa debe prestar atención a la organización de su actividad económica para poder competir y sobrevivir en el mercado.

## **3. Motivación personal**

Personalmente, tras haber estudiado los conceptos relacionados con este trabajo durante la titulación, he sentido una gran satisfacción, curiosidad y ganas por profundizar en la aplicación de dichos conceptos. Además, el conocimiento en la aplicación de las teorías y técnicas empleadas puede ser de gran ayuda para mi carrera profesional como Ingeniero Industrial.

## **4. Objetivo del Trabajo Fin de Máster**

La elaboración del trabajo fin de máster tiene como objetivo principal la obtención del título de Máster en Ingeniería Industrial por la Universidad Politécnica de Valencia, así como demostrar las competencias adquiridas durante la titulación.

En relación con el propio contenido del Trabajo Fin de Máster, el objetivo es diseñar un sistema de planificación de la producción que pueda ser utilizado por una empresa especializada en la fabricación de equipos para diversos sectores. Así mismo, se pretende implantar el sistema en la empresa desarrollando ejemplos de planificación.

## 5. Resultados esperados con el Trabajo Fin de Máster

En relación con los resultados del Trabajo Fin de Máster, se espera que el sistema diseñado sea robusto y capaz de planificar con éxito y comodidad la producción de la empresa por parte de la dirección de esta. Para demostrarlo, se plantea un ejemplo de planificación de la producción.

## 6. Estructura del Trabajo Fin de Máster

El Trabajo Fin de Máster está estructurado en tres grandes bloques: Memoria, Presupuesto y Anejos.

Cada bloque se subdivide en distintos capítulos, los cuales abordan una parte distinta del trabajo. A su vez, cada capítulo está compuesto por apartados y subapartados, los cuales desarrollan en profundidad el contenido.

La estructura de la **Memoria** es la siguiente.

- **Capítulo 1.** Presentación del Trabajo Fin de Máster: en este capítulo se hace una introducción al trabajo, se justifica su realización, se aporta la motivación personal del autor y se exponen tanto los objetivos como los resultados esperados.
- **Capítulo 2.** Descripción de la empresa: en este capítulo se presenta las características de la empresa estudiada en cuanto a su actividad económica, productos ofertados, plantilla de trabajadores y distribución de actividades en el establecimiento.
- **Capítulo 3.** Marco teórico: en este capítulo se explica de forma breve la teoría que hay detrás de la planificación de la producción y el esquema general de planificación.
- **Capítulo 4.** Metodología propuesta para el desarrollo del sistema: en este capítulo se explica las herramientas y procesos llevados a cabo para el desarrollo e implantación del sistema de planificación de la producción.
- **Capítulo 5.** Plan Agregado de la Producción: en este capítulo se explica el desarrollo y modelado de la herramienta de planificación agregada, entrando en detalle en las ecuaciones e inecuaciones empleadas para describir el problema, así como en la construcción de la herramienta en un software especializado.
- **Capítulo 6.** Plan Maestro de la Producción: en este capítulo se explica el desarrollo y modelado de la herramienta de planificación maestra, entrando en detalle en las ecuaciones e inecuaciones empleadas para describir el problema, así como en la implementación de la herramienta en un software especializado.
- **Capítulo 7.** Plan de Requerimientos de Materiales: en este capítulo se explica el desarrollo y modelado de la herramienta de planificación de requerimientos de materiales a partir de las listas de materiales de los productos, entrando en detalle en las expresiones utilizadas para describir el problema, así como en la implementación de la herramienta en un software especializado.

- **Capítulo 8.** Programación de la Producción: en este capítulo se explica en detalle el desarrollo del código utilizado en la generación de programas de producción, así como su utilización a través del sistema de planificación de la producción diseñado.
- **Capítulo 9.** Conclusiones del trabajo: en este capítulo se habla sobre las conclusiones a las que se ha llegado tras finalizar el trabajo respecto a los resultados obtenidos, robustez de las herramientas, etc.
- **Capítulo 10.** Objetivos de Desarrollo Sostenible: en este capítulo se explica la relación que tiene el trabajo con los ODS, establecidos por la Asamblea General de las Naciones Unidas.
- **Capítulo 11.** Líneas de trabajo futuras: en este capítulo se comentan cuáles serían los pasos siguientes para profundizar más en el trabajo propuesto y generar un sistema más amplio que pueda abarcar otros aspectos de la gestión de la empresa, así como mejoras posibles a aplicar al trabajo realizado.
- **Capítulo 12.** Bibliografía: en este capítulo se muestra la relación de la bibliografía consultada durante la realización de este Trabajo Fin de Máster.

La estructura del **Presupuesto** es la siguiente:

- **Capítulo 1.** Objeto: en este capítulo se explica el objeto y alcance del presupuesto.
- **Capítulo 2.** Costes: en este capítulo se detalla el presupuesto relacionado con el trabajo personal, el uso de equipos informáticos y la contratación de licencias de software.

La estructura de los **Anejos** es la siguiente:

- **Capítulo 1.** Casos de aplicación del sistema y algoritmos: en este capítulo se adjuntan los casos de ejemplo realizados en cada una de las herramientas que comprenden el sistema de planificación, así como el código necesario para hacer programas de producción.
- **Capítulo 2.** Resumen de información de los ODS: en este capítulo se incluye una tabla resumen de los ODS vinculados con este trabajo.

## 7. Conclusiones

Tras esta presentación del Trabajo Fin de Máster se puede concluir que la toma de decisiones es fundamental para el buen funcionamiento de las empresas. Además, la toma de decisiones se ha de basar en el método científico y desarrollarse mediante técnicas de investigación operativa, la cual ha sido plenamente desarrollada a lo largo del siglo XX. Finalmente, este trabajo pretende aplicar conceptos de dirección de operaciones para mejorar la eficiencia y productividad de una empresa industrial.

## CAPÍTULO 2. DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA

### 1. Introducción

La empresa en la que se va a desarrollar el sistema de planificación planteado en este Trabajo Fin de Máster fabrica y vende equipos para clientes fabricantes de productos farmacéuticos, alimentarios y cosméticos. Los productos que fabrica están estandarizados por catálogo y actualmente la dirección de la empresa ha decidido personalizar lo menos posible los equipos. Esto es debido a que, tras una larga trayectoria en la industria, los profesionales se han dado cuenta de que los clientes piden productos muy similares entre sí, y muchas veces estos tampoco tienen claro las características exactas que necesitan tener los equipos.

En su fundación se trataba de un taller de mecanizados de piezas de acero y aluminio, pero con el transcurso del tiempo y el crecimiento económico de la empresa, se ha ido introduciendo poco a poco en el mercado de la calderería para instalaciones industriales.

Actualmente se dispone de una plantilla de la zona de producción de diez trabajadores a jornada completa y de una plantilla de la zona de oficina (ingeniería, ventas, finanzas, etc.) de seis trabajadores. La empresa trabaja en la actualidad a un solo turno con jornada partida con descanso para la hora de comer.

La empresa tiene veinte años de experiencia en el sector de las instalaciones industriales y calderería, y en los últimos años la gerencia ha decidido mejorar los procesos de toma de decisiones que puedan influir en la producción. Hasta ahora, la dirección de la empresa no había puesto esfuerzos en la mejora del proceso de planificación en la optimización de los costes y tiempos, pero ha decidido poner énfasis en dicho asunto y contratar una auditoría sobre los procesos de producción y el desarrollo de un sistema de planificación de la producción personalizado.

### 2. Arquitectura del establecimiento industrial

La empresa actualmente realiza su actividad económica en una única nave industrial que se compone de una planta baja con ocupación total de la parcela y de una entreplanta que ocupa el treinta por cien de la superficie en planta baja. Las características geométricas y arquitectónicas de la nave industrial se resumen en la Tabla 2 mostrada a continuación.

Luz de la nave (L)	30 m
Profundidad de la nave (P)	150 m
Altura de coronación (H)	10 m
Número de plantas	PB + Entreplanta del 30%

Tabla 2. Características de la nave industrial.

Así mismo, en la Figura 1 se ha incluido un esquema con las dimensiones generales del establecimiento industrial.

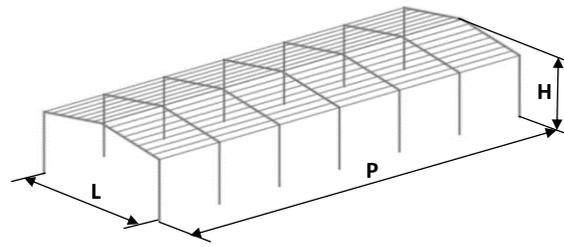


Figura 1. Dimensiones generales de la nave industrial.

La nave industrial está dividida en diversas secciones donde se realizan las actividades productivas necesarias para la fabricación de los equipos. Por un lado, la oficina se localiza en la entreplanta de la nave, donde se realizan actividades técnicas de diseño y actividades administrativas y de gestión relacionadas con las finanzas, la contabilidad o las ventas. Las dimensiones generales de la oficina se pueden ver en la Figura 2.

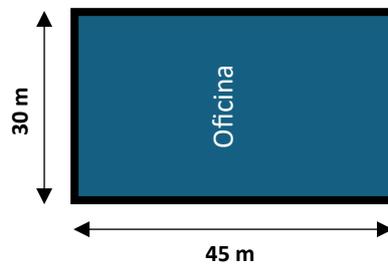


Figura 2. Dimensiones generales de la oficina.

Por otra parte, toda la planta baja del edificio se destina a actividades de producción. En esta zona se puede identificar una sección de torneado compuesta por una serie de tornos universales de control numérico, una sección de fresado formada por una serie de fresadoras verticales universales de control numérico, una sección de plegados con unas máquinas plegadoras de pequeños componentes de chapa metálica, una sección de cilindrado compuesta por una máquina cilindradora de chapa, la cual es utilizada para generar cilindros de gran tamaño, una sección de montaje con espacio para varios puestos de trabajo donde se montan las piezas de los equipos que necesiten ser ensambladas previamente, una sección de soldadura con diferentes puestos de trabajo equipados con máquinas soldadoras de tecnología TIG, y una sección de pulido y limpieza donde se utilizan máquinas manuales de pulido y se limpian los equipos con productos químicos especiales para el acabado de superficies metálicas.

En cuanto al almacenaje, existe en un extremo de la nave industrial un almacén de componentes y materias primas, y en el otro, un almacén de productos terminados. En este último almacén se inspecciona los productos, se embala, se etiqueta y se documenta para las futuras entregas a los clientes.

A continuación, en la Figura 3 se puede observar un esquema del *layout* de los almacenes y de la zona de producción de la empresa.

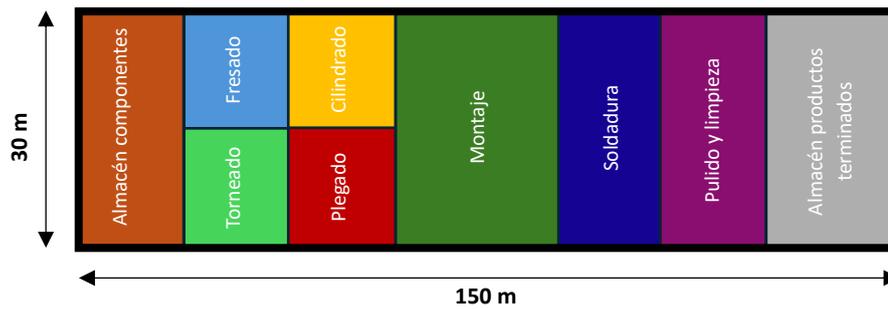


Figura 3. Dimensiones generales y layout de la zona de producción de la empresa.

Para la manutención de los productos, componentes y materias primas se utilizan carretillas elevadoras y transpaletas manuales dentro de los almacenes y dentro de cada sección de la zona de producción. Para el movimiento de cargas pesadas entre secciones se emplea un puente grúa instalado en unas vigas carril que forman parte de la estructura de la nave industrial. En la Figura 4 se pueden observar ejemplos de este tipo de máquinas y aparatos de manutención.



Figura 4. Máquinas para manutención. Carretilla elevadora (izquierda); Transpaleta manual (centro); Puente grúa (derecha).

Fuente: <https://blog.toyota-forklifts.es/toro-elevador-que-es-tipos> ; <https://www.catlifttruck.com/es/productos/equipos-de-almacen/transpaletas-manuales> ; <https://www.joseangelmercado.com/blog/mantenimiento-puentes-grua/>

### 3. Actividad económica de la empresa. Modelo de negocio

Para describir y entender el funcionamiento de la empresa se va a desarrollar el modelo de negocio. Para ello se va a emplear el *Business Model Canvas*, el cual es globalmente empleado en el mundo empresarial.

- **Socios clave:**

En cuanto a los socios clave, la empresa ha desarrollado una relación de fidelización con proveedores de materias primas, los cuales en ocasiones aplican rebajas en la venta de lotes debido a todo el tiempo que la empresa lleva adquiriendo productos. Además, la empresa en ocasiones decide, por temas económicos o de capacidad, subcontratar el diseño y producción de productos a una empresa fabricante de su mismo sector.

- **Actividades clave:**

Sobre las actividades clave, destaca la fabricación de sus productos, la gestión de la logística de distribución de los pedidos hasta casa del cliente, el mantenimiento de los productos, y el marketing y promoción en ferias empresariales.

- **Recursos clave:**

Respecto a los recursos clave, la empresa dispone de una nave industrial con las instalaciones necesarias para la producción de equipos industriales y una flota de vehículos de transporte de varias tipologías, tanto para productos como para el transporte de los trabajadores.

- **Relación con los clientes:**

En la relación con los clientes, la empresa tiene una política de fidelización mediante la propuesta periódica de ofertas a clientes recurrentes y un soporte técnico las veinticuatro horas del día para posibles averías, roturas o accidentes con instalaciones fabricadas por la empresa. Además, la empresa realiza una encuesta de satisfacción de los clientes para comprobar la calidad real de los productos respecto al criterio y perspectivas de los que adquieren los productos.

- **Canales:**

En cuanto a los canales que se utiliza, cabe destacar que la empresa dispone de una página web moderna y actualizada con el catálogo de todos los productos, y de redes sociales con actividad continua que permite hacerse conocer entre las empresas clientes.

- **Segmento de clientes:**

Respecto a los segmentos de clientes a los que se sirve, está muy claro el tipo de cliente que adquiere los productos de la empresa, ya que toda la demanda proviene de empresas industriales que producen un tipo específico de mercancía.

- **Propuesta de valor:**

Por otro lado, sobre la propuesta de valor que la empresa pretende aportar a sus clientes, destaca la oferta de productos a bajo precio y calidad similar a la de los competidores de sector. Además, ofrece una atención especializada y cuidadosa con el cliente.

- **Estructura de coste:**

En cuanto a la estructura de costes, destaca la adquisición de materias primas y componentes a los proveedores, la mano de obra, el mantenimiento de los vehículos de transporte, el alquiler de la nave industrial, los costes de energía y mantenimiento de las instalaciones, la formación con cursos de los empleados y las campañas de marketing e impresión de catálogos.

- **Fuentes de ingresos:**

Por último, respecto a las fuentes de ingresos, como ya se ha comentado anteriormente, la empresa obtiene sus beneficios de la venta y mantenimiento de equipos industriales, los cuales son usados generalmente en la industria farmacéutica, en la industria alimentaria y en la industria cosmética.

El resumen del *Business Model Canvas* se puede ver en la Tabla 3.

<b>MODELO CANVAS</b>				
<b>PRODUCTO</b>			<b>MERCADO</b>	
<p><b><u>SOCIOS CLAVE</u></b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Proveedores de componentes con relación de fidelización.</li> <li>- Empresas para subcontratación con relación de fidelización.</li> </ul>	<p><b><u>ACTIVIDADES CLAVE</u></b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Fabricación de productos.</li> <li>- Mantenimiento de productos.</li> <li>- Gestión de logística de distribución.</li> <li>- Marketing en ferias empresariales.</li> </ul>	<p><b><u>PROPUESTA DE VALOR</u></b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Productos de bajo coste y de calidad similar a la de los competidores de sector.</li> <li>- Atención cuidada a los clientes.</li> </ul>	<p><b><u>RELACION CON EL CLIENTE</u></b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Ofertas periódicas a clientes recurrentes.</li> <li>- Soporte técnico 24h.</li> <li>- Encuesta de satisfacción para clientes de cara a mejorar los productos.</li> </ul>	<p><b><u>SEGMENTO DE CLIENTES</u></b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Empresas industriales del sector farmacéutico, alimentario y cosmético.</li> </ul>
	<p><b><u>RECURSOS CLAVE</u></b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Nave industrial equipada para la producción.</li> <li>- Flota de vehículos para el transporte de mercancía.</li> <li>- Flota de vehículos para el transporte de los trabajadores.</li> </ul>		<p><b><u>CANALES</u></b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Página web moderna y actualizada.</li> <li>- Redes sociales con actividad frecuente.</li> </ul>	
<p><b><u>ESTRUCTURA DE COSTE</u></b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Adquisición de materias primas.</li> <li>- Horas de mano de obra.</li> <li>- Energía y mantenimiento instalaciones.</li> <li>- Mantenimiento de flota de vehículos.</li> <li>- Alquiler de la nave industrial.</li> <li>- Formación de los empleados.</li> <li>- Campañas de marketing.</li> </ul>			<p><b><u>FUENTES DE INGRESOS</u></b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Venta de productos fabricados.</li> <li>- Mantenimiento de las instalaciones vendidas.</li> </ul>	

Tabla 3. Modelo de negocio Canvas.

#### 4. Descripción de los productos ofertados

Los productos ofertados en la empresa generalmente son instalaciones estandarizadas para la elaboración de productos farmacéuticos (jarabes, agua purificada, etc.), productos alimentarios (leche, batidos, zumos, pastas, bebidas alcohólicas, etc.) y productos cosméticos (jabones, cremas, etc.).

Algunos de los equipos constan de uno o varios recipientes en los que se realizan diferentes operaciones como puede ser la adición de componentes, el mezclado, el calentamiento, etc. Así mismo, presentan elementos auxiliares para que se puedan realizar las operaciones como canalizaciones por las que circulan los productos de las elaboraciones, estructuras portantes, bombas, sensores, cableado eléctrico, cuadros de automatización, etc.

A su vez, la empresa ofrece productos que tienen una función auxiliar en la producción, como pueden ser máquinas dosificadoras, estanterías de almacenaje de muestras, equipos de limpieza a presión, etc.

Algunas imágenes de productos tipo que se fabrican y venden en la empresa se pueden observar en la Figura 5.



Figura 5. Productos fabricados en la empresa. Reactores para producción de medicamentos (izquierda); Equipo para el procesado de leche (centro); Almacén de muestras (derecha).

Fuentes: <https://www.automaticaeinstrumentacion.com/texto-diario/mostrar/2734701/aei-518-industria-farmaceutica-entorno-grandes-cambios> ; <https://blog.machinepoint.com/sistemas-recepcion-de-leche/> ; <https://www.gmgastro.com/>

## 5. Conclusiones

Por un lado, los productos están estandarizados, por lo que la variabilidad en la fabricación es mínima si no se tiene en cuenta la aparición de nuevos productos en catálogo, lo cual facilita la planificación de los productos terminados.

Así mismo, el hecho de que la demanda de productos provenga de tres sectores diferenciados, asegura en cierto modo una demanda mínima si existiera algún problema en algún sector que disminuya las ventas coyunturalmente.

Además, la descripción del modelo de negocio de la empresa da una información muy útil sobre aquello en lo que se puede actuar para planificar la producción. Por ejemplo, dado que la empresa tiene buena relación con sus proveedores, tiene la oportunidad de negociar precios o periodos de entrega que le puedan ocasionar ahorro en coste o en tiempo. Además, la empresa tiene posibilidad de subcontratar productos, lo cual puede solucionar posibles problemas en cuanto a capacidad productiva. A su vez, la empresa está dispuesta a invertir en formar a los trabajadores para que desempeñen diferentes puestos en la empresa, lo cual significa que la organización podrá reasignar trabajadores de unas secciones a otras. Además, al disponer una demanda de clientes recurrente podrá diferir demanda en ocasiones si negocia por ejemplo los precios de venta. A su vez, como dispone de tres fuentes de demanda procedente de tres sectores industriales diferentes, existe muy poca probabilidad de que la demanda media fluctuó demasiado, lo que hace más factible el cumplimiento de los planes propuestos. Así mismo, con relación a la estructura de costes del negocio, hay que prestar atención a los costes fijos de mantenimiento de instalaciones y de la energía consumida en producir.

En resumen, a partir del modelo de negocio descrito, se ha identificado un amplio abanico de decisiones que hay que tomar para optimizar la producción y que dan mucho juego y libertad a la hora de planificar.

## **CAPÍTULO 3. MARCO TEÓRICO**

### **1. Introducción**

La planificación de la producción es fundamental para el correcto funcionamiento de las empresas industriales productivas. Entre otras razones, planificar la producción permite utilizar de forma eficiente los recursos disponibles (mano de obra, maquinaria, materias primas, tiempo, etc.), mejorar la calidad de los productos debido al establecimiento de procedimientos de control, cumplir los plazos de entrega de los productos a los clientes, optimizar los procesos de fabricación debido a la búsqueda continua de reducciones de costes y tiempos, y gestionar eficaz y eficientemente el personal de la empresa.

Detrás de la planificación de la producción existe una extensa bibliografía, en la que se destaca el proceso general de planificación de la producción que una basta cantidad de empresas emplean en su día a día.

### **2. Proceso de Planificación de la Producción**

#### ***2.1 Descripción general***

Para planificar la producción de forma eficaz, se ha de seguir el proceso establecido por el esquema general de la planificación. El proceso de planificación de la producción sigue unos pasos de forma secuencial y con dependencias entre sí.

Primero, en base a unas previsiones a largo plazo, se discute la estrategia que debe seguir la empresa en cuanto a posibles ventajas competitivas en costes, calidad, diferenciación, etc. Estos aspectos se desarrollan en el denominado Plan Estratégico de la Producción (PEP), el cual se concreta también junto al plan de ventas y el plan financiero. Uno de los objetivos de este plan es decidir qué productos o servicios se van a fabricar y en qué mercados se van a vender. Además, también se definen los planes de capacidad a largo plazo, lo que corresponde con definir los recursos generales con los que se va a partir, como el número de fábricas, número de almacenes, etc. En general, se cubren las decisiones de la empresa a largo plazo, que abarcan periodos de tiempo de varios años. En este plan se suele hablar de tipologías de productos.

Una vez concretada la estrategia empresarial, qué es lo que se va a fabricar y en qué mercados se va a comercializar, se realiza el Plan Agregado de la Producción (PAP) en base a unas previsiones a medio plazo, para decidir de forma agregada por familias cuánta producción es necesaria. Dichas previsiones recogen periodos a medio plazo que pueden llegar al año, ya que hoy en día no es lógico que las empresas planifiquen la producción a más largo plazo, debido al continuo cambio en el entorno. Es conveniente que dichas previsiones provengan de un histórico de ventas de al menos un par de años. Además, es necesario vigilar las condiciones exteriores como cambios de precios de materias primas, cambios legislativos y cualquier factor que pueda alterar las ventas futuras. El plan de capacidad a largo plazo del plan estratégico marcará los factores productivos y los costes relacionados. En el plan agregado se decide el número de trabajadores necesarios por periodo, la cantidad de producción a realizar en horas regulares, la cantidad de subcontratación, las horas extra necesarias, etc. Los

resultados de dicho plan agregado servirán como restricciones para el resto de los planes a más corto plazo.

A continuación, se realiza un Plan Maestro de la Producción (MPS) que dé como resultado las cantidades y fechas en las que es necesario recibir los productos con demanda independiente. En este punto es conveniente desagregar la información en semanas para llevar una mejor planificación. Este plan se realiza en base a unas previsiones a corto plazo y a los pedidos de clientes ya realizados, así como los pedidos extraordinarios que necesitan de un tratamiento especial o de urgencia. La factibilidad del plan maestro es comprobada por la Planificación Aproximada de la Capacidad, con lo que se corrobora que el sistema de producción tiene suficiente capacidad para fabricar los productos planificados. Además, el plan aproximado de capacidad deberá ajustar los recursos técnicos y humanos asignados a cada sección o centro de trabajo, así como las horas extra necesarias que han de realizar los empleados.

Posteriormente, se realiza el Plan de Requerimientos de Materiales (MRP), el cual aborda la demanda dependiente que tienen los materiales que componen los productos finales. De esta forma, el plan de requerimientos de materiales planificará tanto las órdenes de fabricación como de compra de cada uno de los componentes requeridos para la fabricación de los productos del plan maestro. Para elaborar el plan de necesidades de materiales, es necesario disponer de las listas de materiales (BOM) de los productos y de los registros previos de inventario. De manera similar al plan maestro, la factibilidad del plan de materiales se comprueba con la Planificación de Necesidades de Capacidad. Si no fuera factible el plan final, sería necesario modificar el plan maestro.

Por último, una vez se conocen las recepciones planificadas tanto de productos finales como de componentes, se realiza el Programa de Producción, donde las órdenes de fabricación son secuenciadas de una manera optimizada para reducir el tiempo de entrega total o mejorar cualquier otro parámetro que se quiera maximizar o minimizar. Estos parámetros para optimizar suelen ser las conocidas como medidas de eficiencia regulares. Es común intentar reducir la fecha máxima de finalización de todos los trabajos ( $C_{max}$ ) o la tardanza máxima ( $L_{max}$ ), entre otros.

A su vez, aquellos componentes o materiales que por decisión de la empresa o por incapacidad no puedan ser manufacturados en las propias instalaciones de la empresa, tendrán que pedirse a proveedores en el entorno de la gestión de compras.

Para el desarrollo de todas las herramientas de planificación es posible emplear métodos óptimos que encuentren la solución más eficiente posible, pero en muchas ocasiones son empleados métodos heurísticos, que, a pesar de que no aportan la solución óptima del problema, en la mayoría de las ocasiones pueden llegar a dar soluciones más factibles, como sucede por ejemplo cuando se trabaja con la replanificación u horizonte rodante.

Así mismo, para obtener soluciones que ayuden a la planificación y a la toma de decisiones, es de suma importancia hacer una investigación exhaustiva sobre los datos de entrada a los planes y programas. Para ello, por ejemplo, es necesaria la medición del tiempo medio que conlleva la realización de cada una de las operaciones para cada orden de fabricación esperada. [Stephen N. Chapman \(2006\) \[3\]](#)

A continuación, en la Figura 6 se muestra el esquema general del proceso de planificación de la producción, donde se detallan las dependencias y conexiones entre los distintos planes y programas.

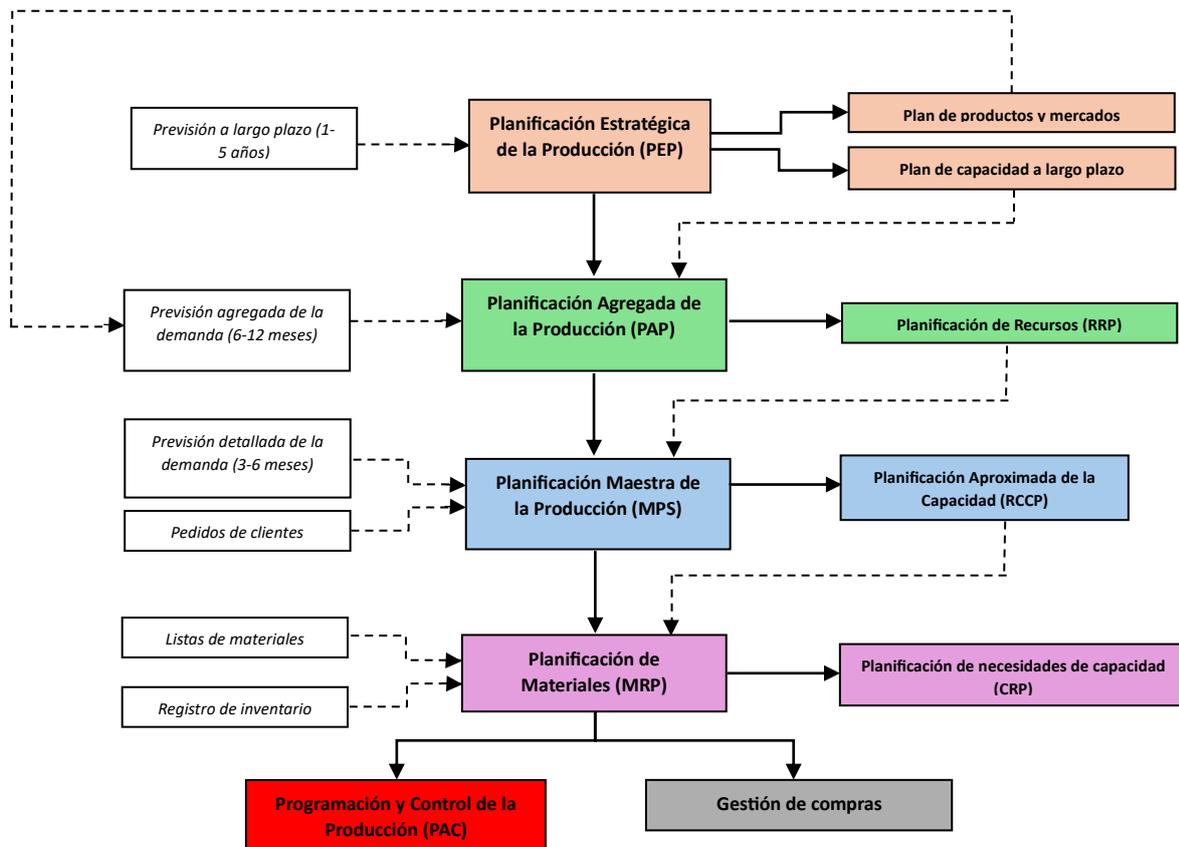


Figura 6. Esquema general del proceso de Planificación de la Producción.

En relación con el alcance de este Trabajo Fin de Máster, se abordará el Plan Agregado de la Producción, el Plan Maestro de la Producción, el Plan de Necesidades de Materiales, y el Programa de Producción, los cuales son clave para el proceso general de planificación. A continuación, se detalla la explicación de cada uno de los planes.

## 2.2 Plan agregado de la producción (PAP)

Con el Plan Agregado de la Producción se pretende definir una combinación factible de recursos y políticas a medio plazo que permita alcanzar los objetivos del negocio con niveles de servicio y coste aceptables.

En la planificación agregada de la producción es posible actuar sobre la demanda, sobre la capacidad o sobre ambas.

Para actuar sobre la demanda es necesario realizar acciones comerciales como ofertas o promociones, o convencer a los clientes de retrasar o adelantar sus pedidos. Además, muchas empresas incluyen en su planificación artículos con demanda estacional complementaria, de forma que se consiga tener una capacidad de producción constante. Actuar sobre la demanda tiene el inconveniente de que no existe control de las necesidades y decisiones de compra de los clientes, por lo que enfocarse demasiado en variar la demanda puede proporcionar a corto plazo aspectos no factibles en cuanto a la planificación.

Por otro lado, para actuar sobre la capacidad, es posible cambiar los niveles de inventario, modificar la capacidad de mano de obra, usar horas extra, permitir a los empleados tiempos ociosos, contratar trabajadores a tiempo parcial o subcontratar la fabricación de artículos a empresas externas. En este caso, al actuar sobre la capacidad, se tiene mayor control que actuando sobre la demanda, aunque es cierto que a la hora de realizar nuevas contrataciones pueden presentarse problemas de falta de candidatos para los puestos o falta de profesionales cualificados en el mercado. A su vez, los despidos masivos pueden llegar a influir muy negativamente en los trabajadores.

Existen distintas estrategias que se suelen emplear para diseñar un plan agregado. Una de ellas es la estrategia de nivelación de mano de obra, en la cual se pretende mantener la plantilla de trabajadores constante debido al criterio de la empresa de mantener la moral y bienestar de los trabajadores o de mantener y cuidar la mano de obra cualificada debido al coste económico y temporal que conlleva formar a nuevos trabajadores. Otra de las estrategias es la de nivelación de producción, en la cual se pretende producir de forma constante. En estas dos estrategias se utiliza la variación de inventario para cubrir la demanda. Este tipo de estrategias de nivelación funciona bien cuando la curva de demanda es relativamente constante, ya que, por el contrario, se corre el riesgo de no poder servir en periodos de alta demanda.

Por otro lado, también es empleada la estrategia de caza, la cual busca ajustarse a la demanda e inventariar lo menor posible. Esto conlleva que es necesario planificar despidos, contrataciones, trabajo en horas extra o trabajos a tiempo parcial, entre otras acciones.

Por último, existe un tipo de estrategia mixta que intenta combinar los aspectos de las estrategias explicadas anteriormente. Esta es la estrategia más empleada por las empresas, ya que las estrategias de caza o nivelación pura son demasiado teóricas y no se suelen ajustar exactamente con la realidad de las organizaciones.

### ***2.3 Plan maestro de la producción (MPS)***

El Plan Maestro de la Producción es un plan temporizado de los productos que la empresa pretende fabricar o construir detallando periodos y unidades. Como es lógico, el plan maestro ha de presentar una cierta concordancia con el Plan Agregado de la Producción en cuanto a los recursos previstos de manera global. En general, los planes maestros suelen presentar un horizonte de planificación de un trimestre y un periodo de planificación de una semana, aunque estos valores pueden variar según el tipo de productos que se maneje. La planificación maestra entra dentro de la previsión a corto plazo en el esquema general de la planificación, y para su ejecución es necesaria una previsión detallada de la demanda de productos. Para planificar las recepciones en el plan maestro hay que tener en cuenta la capacidad de producción, por tanto, será necesario realizar una comprobación para cerciorarse de que será posible producir las recepciones planificadas tanto en plazo como en cantidad. Para esta tarea se emplea el Plan Aproximado de la Capacidad, que de una manera provisional intenta demostrar la factibilidad de la producción.

En función de la naturaleza del artículo que se produzca, el plan maestro puede aplicarse en distintos puntos del proceso productivo. Por ejemplo, si los productos son de muy poca variabilidad y están rígidamente estandarizados en su forma final (lápices, cajas de plástico, libros, etc.), lo más lógico es planificar las recepciones al final del proceso productivo, es decir, planificar recepciones de artículos

acabados en su totalidad (fabricación contra stock). En la Figura 7 se pueden observar algunos ejemplos de este tipo de fabricación.



Figura 7. Productos de fabricación contra stock. Botellas de plástico (izquierda); Tubos de acero (centro); Papel para fabricar cartón (derecha).

Fuentes: <https://www.ingenieriaquimicareviews.com/2020/12/botellas-pet-proceso-fabricacion-definiciones.html>; <https://www.husteel-group.com/es/events/how-are-seamless-steel-tubes-made.html>; <https://indugevi.com/bobina-de-papel/>

Si, por el contrario, los productos fabricados por la empresa poseen cierta variabilidad de acabados, pero parten de los mismos ensamblajes (automóviles, zapatos, smartphones, camisetas, etc.), se planificarán las recepciones a la mitad del proceso productivo aproximadamente, es decir, donde se almacenen los productos semielaborados (montaje contra pedido). En la Figura 8 se pueden observar algunos ejemplos de este tipo de fabricación.



Figura 8. Productos de montaje contra pedido. Automóviles de distinto color y equipamientos (izquierda); Zapatos con distintos acabados (centro); Guitarras eléctricas de distinto color (derecha).

Fuentes: <https://www.autocasacion.com/actualidad/reportajes/asi-seran-las-futuras-fabricas-de-coches>; <https://www.diariodemallorca.es/viajes/2020/07/22/mallorca-tierra-mejor-calzado-artesano-8003869.html>; <https://radiounodigital.com/web/2019/10/26/una-visita-interesante-a-la-fabrica-de-las-guitarras-gibson/>

Por último, si los productos fabricados son diseñados y fabricados de forma totalmente personalizada para el cliente (máquinas personalizadas, instalaciones a medida, etc.), se planificarán las recepciones de las materias primas y componentes (fabricación bajo pedido). En la Figura 9 se pueden observar algunos ejemplos de este tipo de fabricación.



Figura 9. Productos de fabricación bajo pedido. Instalación de climatización (izquierda); Cuadro decorativo personalizado (centro); Platos de restaurante de lujo (derecha).

Fuentes: <https://www.tusocal.com/blog/instalaciones-de-calefaccion-industrial/>; <https://tayronastore.com/cuadro-lienzo-pintura-pajaros-045/>; <https://www.expedia.es/stories/cena-de-lujo-los-mejores-restaurantes-de-hotel/>

En el caso de este trabajo, todos los productos están estandarizados por catálogo y las necesidades de producción se planifican al final del proceso, por lo que se trabajará con fabricación contra stock.

Para realizar un plan maestro de la producción es necesario seguir una serie de etapas. En primer lugar, se debe diseñar el plan maestro. En el diseño se define el horizonte de planificación, el periodo de planificación, las barreras temporales consideradas y la frecuencia de revisión, es decir, la periodicidad en la que la empresa replanificará el plan maestro en base a las actualizaciones de la producción y de los pedidos.

En segundo lugar, se ha de desarrollar el plan maestro. Para ello, es necesario obtener las previsiones, pedidos en firme, inventario actual, y otros datos de entrada. Después será necesario realizar un primer borrador de plan maestro en el que habrá que comprobar las restricciones de capacidad existentes en la planificación aproximada de la capacidad mediante alguna técnica existente como pueden ser los factores globales, las listas de capacidad o los perfiles de recurso.

Una vez se ha conseguido un plan maestro factible, se deberá controlar dicho plan maestro para comprobar que se cumple con la planificación y por tanto puedan satisfacerse los pedidos de los clientes.

#### **2.4 Plan de necesidades de materiales (MRP)**

El Plan de Necesidades de Materiales es una herramienta basada en el Plan Maestro y usada para asegurar que los componentes necesarios para fabricar los productos estén disponibles en el momento que así se requiera. Al igual que el Plan Maestro, este plan calcula la cantidad y momento en el que se necesitan los materiales en base a una serie de datos como puede ser el stock de seguridad, el lote mínimo a pedir o el *Lead time* (tiempo de suministro).

El *Lead Time* es la suma de las duraciones de las actividades necesarias para tener un producto disponible. Dichas actividades pueden ser tareas de gestión, esperas en el centro de trabajo, preparación de la maquinaria y puestos de trabajo, enfriamiento, proceso de operación, calentamiento o curado si el producto lo requiere y transporte al siguiente centro de trabajo. Debido a la existencia de un *lead time* no nulo, será necesario lanzar los pedidos el tiempo correspondiente al *lead time* antes del periodo de recepción.

Para poder implementar el Plan de Necesidades de Materiales es de especial importancia confeccionar las listas de materiales de los productos finales, donde se indique qué ítems o componentes son necesarios para fabricar una unidad de artículo final y qué cantidad de ellos se necesita. Para un eficiente funcionamiento del sistema, es muy importante que las listas de materiales se actualicen cuando se efectúen rediseños en los productos o en los procesos de producción.

Cuando se habla de MRP, se entiende que es un plan que permite planificar únicamente las necesidades de recursos materiales. Sin embargo, cuando se habla de MRP II, se incluye la planificación de la gestión de la capacidad (CRP). Así mismo, cuando el sistema MRP II se trata de un módulo procedente de un sistema global de gestión de todos los departamentos de la empresa se habla de ERP (*Enterprise Resources Planning*).

En este trabajo, se empleará el MRP II, en el cual se planificarán los requerimientos de materiales teniendo en cuenta la capacidad productiva.

## 2.5 Programación de la producción

La programación de la producción consiste en secuenciar las órdenes de fabricación para reducir alguna métrica como puede ser la fecha de finalización de todos los trabajos o el retraso máximo. Para su planificación, son muchos los algoritmos empleados. En función del tipo de taller o de proceso de fabricación, se aplicarán unos algoritmos u otros. En general, la programación de la producción diferencia cuatro casos principales muy usuales en la industria: el caso monomáquina, el taller de flujo, las máquinas en paralelo y el taller general. [Alberto Medina y otros \(2014\) \[5\]](#)

El caso monomáquina aplica cuando en una empresa existe una única máquina que ha de procesar todas las órdenes de trabajo. Para la resolución de la secuencia de las órdenes se usan diversas reglas como la regla SOT (*shortest operation time*) en la que se van secuenciando las órdenes en orden creciente de tiempos de proceso, o la regla EDD (*earliest due date*) en la que se secuencian las órdenes en orden creciente de la fecha máxima de entrega. Este caso es aplicable por ejemplo a una empresa de análisis de muestras en la que sólo disponen de una máquina de análisis debido a su alto coste de adquisición. En la Figura 10 se pueden ver algunos ejemplos de aplicación de este caso.



Figura 10. Ejemplos para el caso monomáquina. Máquina de análisis de sangre (izquierda); Impresora de gran formato (centro); Máquina de tejer industrial (derecha).

Fuentes: <https://www.istockphoto.com/es/fotos/m%C3%A1quina-de-an%C3%A1lisis-de-sangre-en-laboratorio>;  
<https://www.interempresas.net/Graficas/Articulos/150380-El-futuro-del-gran-formato.html>;  
<https://www.directindustry.es/prod/schlatter/product-16587-2295355.html>

Por otro lado, el caso de taller de flujo aplica en aquellas empresas en las que todas las órdenes de fabricación posibles presentan la misma ruta de fabricación. Para la resolución de este tipo de problemas se suele emplear el algoritmo de Johnson para minimizar la fecha máxima de finalización de los trabajos, el cual asegura la solución óptima para dos o menos máquinas. Para tres máquinas se han de cumplir una serie de restricciones para asegurar que la solución de este algoritmo es la óptima, siempre que se quiera buscar el mejor valor de  $C_{max}$ . Pero para los casos en los que no se pueda asegurar la solución óptima sigue siendo un buen algoritmo heurístico. Este caso es aplicable en las empresas en las que sea segura la ruta de fabricación para todas las órdenes de producción por temas lógicos. Por ejemplo, esto ocurre en una empresa de fabricación de puertas metálicas, en las que primero es necesario cortar y conformar las piezas para después soldarlas y pintarlas en último lugar. En la Figura 11 se pueden ver una serie de ejemplos en los que aplicaría el caso de taller de flujo.



Figura 11. Ejemplos para el caso de taller de flujo. Fábrica de puertas metálicas (izquierda); Fábrica de muebles (centro); Fábrica de balones de baloncesto (derecha).

Fuentes: <https://www.albaunioncerraieros.es/carpinteria-metalica/puertas-metalicas/>; <https://valenciaplaza.com/falta-suministros-llega-fabricantes-muebles/>; <https://www.youtube.com/watch?v=ab1DSgHjazg>

Por otra parte, el caso de taller con máquinas en paralelo aplica a las empresas donde todas las máquinas realizan la misma operación, la cual es posible hacerla en varias máquinas. También es común el caso en el que los talleres de flujo incluyen máquinas paralelas en alguna operación por resultar ser cuello de botella del proceso. Para resolver los problemas de máquinas en paralelo se suelen emplear algoritmos de asignación como el método de los índices. Por ejemplo, se puede aplicar a una empresa de fabricación de galletas con múltiples máquinas en paralelo. En la Figura 12 se pueden ver algunos ejemplos de aplicación de este caso.



Figura 12. Ejemplos para el caso de taller de máquinas en paralelo. Fábrica de galletas (izquierda); Cajas de supermercado (centro); Inspección técnica de vehículos (derecha).

Fuentes: <https://industrial.sherwin-williams.com/emeai/es/es/resin-flooring/media-center/case-studies/fastop-tg69-bakery-factory-anti-slip-floor-screed.html>; <https://jnretail.com/supermercados/>; [https://www.lavozdelsur.es/actualidad/sociedad/estas-son-dos-nuevas-pruebas-itv-mantendran-en-alerta-conductores\\_273717\\_102.html](https://www.lavozdelsur.es/actualidad/sociedad/estas-son-dos-nuevas-pruebas-itv-mantendran-en-alerta-conductores_273717_102.html)

Por último, el caso de taller general aplica a empresas donde existen varias máquinas que realizan tareas distintas y donde no todas las órdenes de fabricación tienen la misma ruta de proceso. A pesar de que para únicamente dos máquinas se puede aplicar el algoritmo de Johnson para obtener la secuencia óptima que minimiza el  $C_{max}$ , es muy común el uso de algoritmos de técnicas de lanzamiento, que, aunque no ofrecen secuencias óptimas, dan soluciones considerablemente buenas para talleres generales. Este caso es aplicable por ejemplo a una empresa de mecanizados de acero. En la Figura 13 se pueden ver algunos ejemplos de aplicación de este caso.



Figura 13. Ejemplos para el caso de taller general. Taller de mecanizados (izquierda); Taller de calderería (centro); Taller de joyería (derecha).

Fuentes: <https://www.mecanizados-kanter.es/empresa/>; <https://www.felmar.es/> ; <https://www.diariocordoba.com/cambio-climatico/2022/03/27/joyeria-cordobesa-responsable-64314126.html>

En el caso de la empresa objeto de este Trabajo Fin de Máster, debido a que cada producto presenta una hoja de ruta distinta con secuencias distintas de operaciones, es necesario tratar los conceptos de taller general, para el cual se van a emplear métodos heurísticos basados en técnicas de lanzamiento.

### **3. Conclusiones**

Como se ha expuesto en este capítulo, existe una extensa bibliografía y teoría detrás del proceso de planificación de la producción. Para desarrollar una buena planificación es necesario seguir los pasos mostrados y elaborar los planes que permitan determinar la magnitud de recursos y producción requerida en cada periodo.

Así mismo, en función de la naturaleza de la empresa, de su producción, y de su sistema productivo, se deberán aplicar unas herramientas u otras, tanto para planificar la producción como para programar y secuenciar las operaciones.

## CAPÍTULO 4. METODOLOGÍA PROPUESTA PARA EL DESARROLLO DEL SISTEMA

### 1. Introducción

Para desarrollar el sistema de planificación de la producción es necesario primero analizar la situación y características propias de la empresa. Así mismo, conviene consultar con la dirección de la empresa cuáles son las variables con las que desean tomar las decisiones y cuáles son los datos que quieren tener en cuenta para la planificación. A su vez, se ha de pensar en el propio trabajo de la dirección de la empresa en cuanto a facilidad para manejar el sistema y capacidad de este para aportar información útil y relevante que permita llevar una buena gestión de la producción y todo lo relacionado con ella.

### 2. Metodología

La metodología llevada a cabo para el desarrollo del sistema de planificación de la producción consiste en el planteamiento de cada uno de los planes y programas del sistema como un modelo de programación lineal compuesto por datos de entrada, variables de decisión, restricciones y función objetivo. Cada dato de entrada y variable de decisión guarda relación con la naturaleza del problema y aporta información útil para su resolución, como pueden ser los costes de lanzamiento, plantilla de trabajadores, tiempos de operación, recepciones planificadas, etc. Así mismo, las restricciones también dependen del problema a resolver, y pueden estar relacionadas, por ejemplo, con la cantidad de unidades mínima a lanzar, el inventario máximo posible debido a la capacidad de almacenamiento disponible, etc. Finalmente, la función objetivo tratará de minimizar costes o tiempos, en función de la importancia relativa que tenga una magnitud respecto a la otra.

Además, en algunos casos será necesario aplicar algoritmos heurísticos para la resolución de los problemas debido, por un lado, a la conveniencia o facilidad de su implementación, o, por otro lado, a la inexistencia de una metodología basada en programación lineal que permita obtener soluciones óptimas.

El sistema de planificación de la producción está desarrollado casi íntegramente en *Microsoft Excel* debido a su sencillez de uso, su gran popularidad y a su fácil acceso, puesto que la gran mayoría de ordenadores con sistema operativo *Microsoft* lleva incluido el paquete *Office* de la marca. Dentro de *Microsoft Excel* se ha empleado el complemento *Solver*, el cual permite resolver los problemas de programación lineal mediante el método Simplex, además de ofrecer la capacidad de resolución de problemas no lineales mediante otros algoritmos. Debido al gran tamaño de los problemas aquí tratados en cuanto a variables de decisión y restricciones, se hace uso del complemento *Open Solver*, un complemento libre que permite resolver problemas mucho más grandes que el *Solver* que hay por defecto dentro de *Microsoft Excel*. El comúnmente conocido como *Solver*, tan sólo permite la resolución de problemas con menos de doscientas variables de decisión y con menos de cien restricciones, lo cual en muchas ocasiones limita el desarrollo de la herramienta.

Para poder tener una correcta lectura y fácil comprensión e interpretación de la información del sistema, se ha seguido una jerarquía de colores para identificar el tipo de información y el tipo de acción

que debe realizar el usuario del sistema con cada casilla. De este modo, las casillas amarillas contienen datos que necesitan ser introducidos manualmente. A su vez, las casillas naranjas albergan datos que son calculados automáticamente a partir de otros datos existentes dentro del sistema. Al mismo tiempo, las casillas azules representan las variables de decisión que el algoritmo de resolución ha de determinar. Así mismo, las casillas grises representan tanto el lado derecho como el izquierdo de una restricción, y, por último, las casillas verdes representan el valor de la función objetivo que hay que maximizar o minimizar, en función de la naturaleza del problema a optimizar.

El resumen de la jerarquía de colores de las casillas del sistema se encuentra en la Tabla 4.

Tipo de casilla	Color
Datos introducidos manualmente	Amarillo
Datos calculados automáticamente	Naranja
Variables de decisión	Azul
Restricciones	Gris
Función objetivo	Verde

Tabla 4. Jerarquía de colores de las casillas del sistema.

En todos los casos en los que se pueda obtener una solución óptima, se emplearán modelos lineales, dado que, si se emplean modelos no lineales, aumentaría el coste computacional y no se asegura que la solución aportada sea la óptima.

Para la resolución de los programas de producción con algoritmos basados en técnicas de lanzamiento que se presentarán en próximos capítulos, se va a emplear el software *Matlab*, el cual es muy apropiado para la programación de código y es compatible con *Microsoft Excel* en cuanto a lectura y escritura de datos. Para su uso, en primer lugar, se debe rellenar la hoja de *Excel* correspondiente con el Programa de Producción. Después, se necesita ejecutar el script de *Matlab* y automáticamente los resultados serán escritos en *Microsoft Excel*. *Matlab* es un software de pago, pero si se desea usar software libre por motivos económicos, es posible la utilización del programa *Octave*, el cual es totalmente compatible con *Matlab* y es capaz de ejecutar scripts escritos en *Matlab* sin problema alguno.

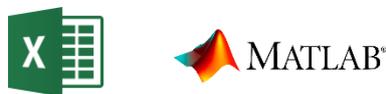


Figura 14. Software empleado para el desarrollo del sistema de Planificación de la Producción. *Microsoft Excel* (izquierda); *Matlab* (derecha).

La información de los pedidos y de las previsiones procedentes de históricos de años anteriores, se encontrará dentro del propio sistema desarrollado en *Excel*, del cual cada una de las herramientas de planificación obtendrá la información que necesita.

En este sentido, el sistema dispondrá de una hoja de cálculo donde se introducirá la información de los pedidos respecto al cliente, información de contacto, producto y cantidad pedida, etc. Un ejemplo de introducción de pedidos en el sistema se puede ver en el Caso de información de pedidos

de los Anejos. Además, los datos de los pedidos y el histórico de ventas de cada uno de los productos se incluyen en otra hoja de cálculo, de la cual se alimentan todas las herramientas de planificación para generar los planes. Un ejemplo de este histórico se puede encontrar en el Caso de resumen de pedidos e histórico de los Anejos. Así mismo, el sistema dispone de una hoja de cálculo donde se indican las listas de materiales de los productos y otra en la que se indica la hoja de ruta de cada uno de los productos y componentes. Un ejemplo de listas de materiales introducidas en el sistema se puede encontrar en el Caso de listas de materiales de los Anejos. Así mismo, ejemplos de hojas de ruta se pueden ver en el Caso de hojas de ruta de los Anejos. El diagrama de flujo del funcionamiento global del sistema se indica en la Figura 15.

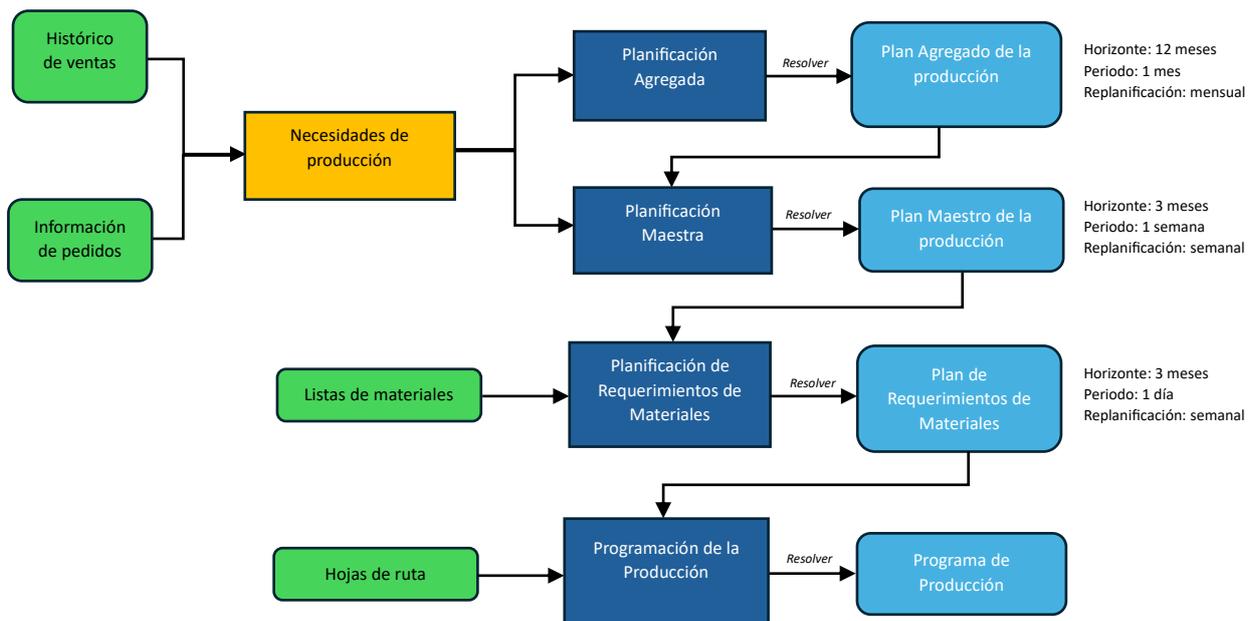


Figura 15. Esquema general del funcionamiento del sistema.

En la Figura 15 se muestra la relación entre los distintos componentes del sistema planteado. El usuario del sistema debe de introducir los datos de los pedidos en la hoja de cálculo incluyendo qué productos se piden y en qué cantidad. Así mismo, el sistema dispone de un histórico de ventas como la media entre las ventas de los últimos años. La información tanto de los pedidos como del histórico de ventas se sintetizan en las necesidades de producción, las cuales alimentan a las entradas de la planificación agregada y de la planificación maestra. En el caso de la planificación agregada, dicha hoja de cálculo agrega los pedidos y previsiones según familias de forma automática. Tras ello, es posible la resolución del Plan Agregado, el cual definirá las restricciones de capacidad del Plan Maestro. El horizonte de planificación del Plan Agregado será de doce meses, cada periodo de planificación de un mes y el periodo entre replanificación será también de un mes. El resultado de la planificación maestra determinará la demanda dependiente de los componentes que forman los productos finales. El Plan Maestro tiene un horizonte de planificación de tres meses, unos periodos de planificación de una semana, y un periodo de replanificación de una semana también. Al mismo tiempo, el Plan de Requerimientos de Materiales necesitará de las listas de materiales para conocer las relaciones entre componentes. En su caso, el Plan de Requerimientos de Materiales tiene un horizonte y un periodo de replanificación igual que en el caso del Plan Maestro, pero un periodo de planificación de un día, ya

que se es más preciso para este tipo de productos que si fuera de una semana. En todos los planes es necesario incluir la información existente respecto al inventario inicial de cada producto y componente. Por último, aquellos lanzamientos planificados del plan de requerimientos de materiales que necesite ser fabricado en la empresa, serán incluidos en la lista de órdenes de fabricación que serán secuenciadas en el Programa de Producción.

### **3. Conclusiones**

La metodología y medios empleados para el desarrollo de la herramienta dará a la dirección de la empresa la capacidad de gestionar la producción de una forma sencilla, rápida y con software de fácil y económico uso, que además es compatible con otros softwares de tratamiento y gestión de datos numéricos. Además, debido a que el software es ampliamente usado en todo el mundo, los resultados de planificación pueden ser compartidos por otros usuarios sin presentar problemas de compatibilidad o de disponibilidad de los programas.

## CAPÍTULO 5. PLAN AGREGADO DE LA PRODUCCIÓN

### 1. Introducción

El Plan Agregado de la Producción ha de dar a la empresa la información necesaria para predecir de forma global los recursos de mano de obra y recursos técnicos que necesitará y la distribución de horas extra necesarias, subcontratación, producción regular, etc. Para ello, el Plan Agregado planteado en el sistema permite la decisión sobre los contratos, despidos y trabajadores en cada periodo tanto de producción como de oficina, sobre las horas regulares, extra y de subcontratación que se aplicarían, y sobre el inventario al final de cada periodo.

Debido a las características de los productos y de los diferentes requerimientos de demanda, el Plan Agregado distingue entre tres familias de productos principales: productos para el sector farmacéutico, productos para el sector alimentario y productos para el sector cosmético.

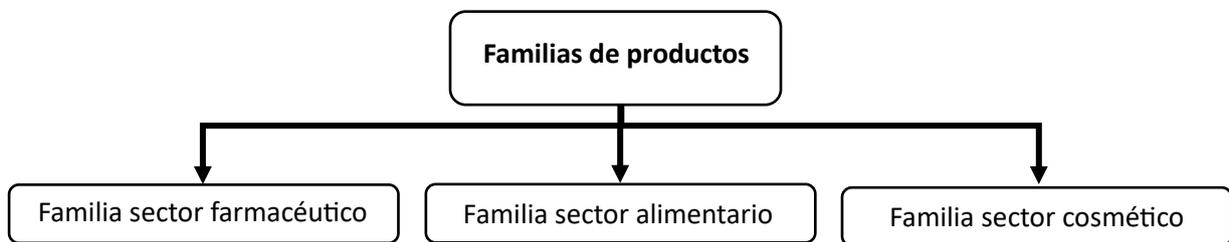


Figura 16. Familias de productos de la empresa.

### 2. Desarrollo de la herramienta de planificación agregada

#### 2.1 Modelo de programación lineal

Para la modelización del problema se han planteado las ecuaciones e inecuaciones que relacionan las variables de decisión con el resto de los datos de entrada. Para poder entender el modelo, se va a incluir la definición de los índices empleados en su formulación.

➤ **Índices**

- *i*: periodo de planificación.
- *j*: unidad de familia.
- *k*: sección de producción.

Además, se han definido los datos de entrada del sistema necesarios para realización de cálculos numéricos.

➤ **Datos de entrada**

Para poder resolver el problema es necesario conocer algunos datos de entrada como pueden ser las necesidades de producción en cada periodo obtenidas como una previsión en base a resultados de

ejercicios anteriores, el número de días productivos de cada periodo (descontando días cerrados y fiestas), etc. En el Plan Agregado planteado, se considera que todas las unidades de familia ocupan el mismo espacio de inventario, por lo que la capacidad máxima de inventario hace referencia a la totalidad de unidades, independientemente de la familia de productos. Así mismo, se tiene en cuenta las horas regulares pagadas a los trabajadores y qué cantidad de estas son verdaderamente productivas, ya que hay que tener en cuenta periodos para comer, y periodos de descanso. También es muy importante introducir el número de horas aproximado de mano de obra necesarias por cada una de las unidades de familia, ya que influirá mucho en el resultado de la planificación agregada. Al mismo tiempo, es posible introducir el número de trabajadores en plantilla que se quiere mantener fijo y el número máximo de trabajadores por motivos de espacio o por política de la empresa. Cabe destacar que el sistema buscará soluciones sin diferir demanda, si se desea, por lo que los inventarios serán siempre mayores o iguales a cero. Los datos de entrada se definen de la siguiente forma.

- ***NP<sub>ij</sub>***: necesidades de producción en el periodo *i* de la unidad de familia *j*. (unidades)
- ***d<sub>i</sub>***: número de días productivos en el periodo *i*.
  
- ***Ht<sub>dc</sub>***: horas contratadas por trabajador y día a jornada completa.
- ***Hp<sub>dc</sub>***: horas productivas por trabajador y día a jornada completa.
- ***Ht<sub>dm</sub>***: horas contratadas por trabajador y día a media jornada.
- ***Hp<sub>dm</sub>***: horas productivas por trabajador y día a media jornada.
  
- ***TalmMatP<sub>j</sub>***: Horas necesarias de la sección de almacén de materias primas para la unidad de familia *j*.
- ***Ttor<sub>j</sub>***: Horas necesarias de la sección de torneado para la unidad de familia *j*.
- ***Tfres<sub>j</sub>***: Horas necesarias de la sección de fresado para la unidad de familia *j*.
- ***Tpleg<sub>j</sub>***: Horas necesarias de la sección de plegado para la unidad de familia *j*.
- ***Tcil<sub>j</sub>***: Horas necesarias de la sección de cilindrado para la unidad de familia *j*.
- ***Tmont<sub>j</sub>***: Horas necesarias de la sección de montaje para la unidad de familia *j*.
- ***Tsold<sub>j</sub>***: Horas necesarias de la sección de soldadura para la unidad de familia *j*.
- ***Tpul<sub>j</sub>***: Horas necesarias de la sección de pulido para la unidad de familia *j*.
- ***TalmProd<sub>j</sub>***: Horas necesarias de la sección de almacén de productos terminados para la unidad de familia *j*.
- ***Hufo<sub>j</sub>***: horas necesarias de mano de obra en oficina por unidad de la familia *j*.
  
- ***MOfoc***: número de trabajadores fijos de oficina a jornada completa.
- ***MOfom***: número de trabajadores fijos de oficina a media jornada.
- ***MOfpc***: número de trabajadores fijos de producción a jornada completa.
- ***MOfpm***: número de trabajadores fijos de producción a media jornada.

- **MOfoamax:** número máximo de trabajadores de oficina a jornada completa por periodo.
  - **MOfommax:** número máximo de trabajadores de oficina a media jornada por periodo.
  - **MOfpcmax:** número máximo de trabajadores de producción a jornada completa por periodo.
  - **MOfpmmax:** número máximo de trabajadores de producción a media jornada por periodo.
- 
- **MOofmaxtur:** número máximo de trabajadores de oficina por turno.
  - **MOprmmaxtur:** número máximo de trabajadores de producción por turno.
- 
- **Phe:** porcentaje máximo de producción en horas extra sobre producción en horas regulares.
  - **Phs:** porcentaje máximo de producción subcontratada sobre producción en horas regulares.
- 
- **HMaxoo:** máximo de horas ociosas de oficina por periodo.
  - **HMaxop:** máximo de horas ociosas de producción por periodo.
- 
- **Cro:** coste de una hora regular de oficina.
  - **Crp:** coste de una hora regular de producción.
- 
- **Ceo:** coste de una hora extra de oficina.
  - **Cep:** coste de una hora extra de producción.
- 
- **Coo:** coste extra de una hora ociosa de oficina.
  - **Cop:** coste extra de una hora ociosa de producción.
- 
- **Cso<sub>j</sub>:** coste de subcontratar el diseño y gestión en oficina de una unidad de la familia j.
  - **Csp<sub>j</sub>:** coste de subcontratar la fabricación de una unidad de la familia j.
- 
- **Cp:** coste de mantener en inventario una unidad durante un periodo.
- 
- **Cco:** coste de contratación de un trabajador de oficina.
  - **Ccp:** coste de contratación de un trabajador de producción.

- **Cdo**: coste de despido de un trabajador de oficina.
- **Cdp**: coste de despido de un trabajador de producción.
  
- **CturOf**: coste fijo por activación de turno en oficina.
- **CturPr**: coste fijo por activación de turno en producción.
- **Cadq<sub>k</sub>**: coste de adquisición de puesto de la sección *k*.
- **Pven<sub>k</sub>**: precio de venta de puesto de la sección *k*.
  
- **Piniofc**: plantilla inicial de oficina a jornada completa.
- **Piniofm**: plantilla inicial de oficina a media jornada.
- **Piniprc**: plantilla inicial de producción a jornada completa.
- **Piniofm**: plantilla inicial de producción a media jornada.
  
- **lini<sub>j</sub>**: inventario inicial de la familia *j*.
- **Imax**: inventario total máximo al final del periodo.
  
- **Mmax<sub>k</sub>**: máximo número de máquinas o puestos de trabajo en la sección *k*.
- **Mact<sub>k</sub>**: número actual de máquinas o puestos de trabajo en la sección *k*.

#### ➤ Variables de decisión

A continuación, se muestran las variables de decisión incluidas en el modelo. En primer lugar, se muestran las variables relacionadas con la plantilla de trabajadores. Hay que tener en cuenta que debido a la diferencia en la naturaleza del tipo de trabajo entre los trabajadores que realizan actividades de producción y los trabajadores que realizan actividades de oficina, puede ser muy interesante hacer esa distinción en cuanto a las variables de decisión.

Por otro lado, también se ha querido dar a la empresa la libertad de decidir si se considera el trabajo a jornada parcial y en qué magnitud se hace.

- **Toc<sub>i</sub>**: trabajadores de oficina a jornada completa durante el periodo *i*.
- **Coc<sub>i</sub>**: contrataciones de oficina a jornada completa al comienzo del periodo *i*.
- **Doc<sub>i</sub>**: despidos de oficina a jornada completa al comienzo del periodo *i*.
  
- **Tpc<sub>i</sub>**: trabajadores de producción a jornada completa durante el periodo *i*.
- **Cpc<sub>i</sub>**: contrataciones de producción a jornada completa al comienzo del periodo *i*.
- **Dpc<sub>i</sub>**: despidos de producción a jornada completa al comienzo del periodo *i*.

- **$T_{om_i}$** : trabajadores de oficina a media jornada durante el periodo  $i$ .
- **$C_{om_i}$** : contrataciones de oficina a media jornada al comienzo del periodo  $i$ .
- **$D_{om_i}$** : despidos de oficina a media jornada al comienzo del periodo  $i$ .
  
- **$T_{pm_i}$** : trabajadores de producción a media jornada durante el periodo  $i$ .
- **$C_{pm_i}$** : contrataciones de producción a media jornada al comienzo del periodo  $i$ .
- **$D_{pm_i}$** : despidos de producción a media jornada al comienzo del periodo  $i$ .

Por motivos de espacio para los trabajadores, el plan permite establecer límites a partir de los cuales se activan más turnos de trabajo a lo largo de la jornada. Como mínimo se activará un turno y como máximo habrá tres turnos al día.

- **$\delta_{ofi_{ni}}$** : variable binaria de activación del turno  $n$  para oficina en el periodo  $i$ .
- **$\delta_{prod_{ni}}$** : variable binaria de activación del turno  $n$  para producción en el periodo  $i$ .

La capacidad productiva en la empresa no está sólo determinada por los recursos humanos, sino que también depende de la disponibilidad de maquinaria y medios técnicos. Por eso, el plan agregado permite decisiones respecto al número de máquinas y puestos de trabajo necesarios en cada una de las secciones productivas, y si es necesario adquirirlos o venderlos en cada periodo.

- **$M_{ik}$** : número de máquinas o puestos de trabajo necesarios en el periodo  $i$  en la sección  $k$ .
- **$Madq_{ik}$** : número de máquinas o puestos adquiridos en el periodo  $i$  en la sección  $k$ .
- **$Mvend_{ik}$** : número de máquinas o puestos vendidos en el periodo  $i$  en la sección  $k$ .

A continuación, se muestran las variables de decisión relacionadas con la producción y el inventario, distinguiendo las tres familias de productos que se fabrican. En el Plan Agregado planteado es posible decidir sobre las unidades de cada familia que se fabrican en horas regulares, en horas extra y cuántas de ellas se mandan a fabricar al exterior por medio de una subcontrata.

- **$Pr_{ij}$** : producción en horas regulares en el periodo  $i$  de la unidad de familia  $j$ . (unidades)
- **$Pe_{ij}$** : producción en horas extra en el periodo  $i$  de la unidad de familia  $j$ . (unidades)
- **$Ps_{ij}$** : producción subcontratada en el periodo  $i$  de la unidad de familia  $j$ . (unidades)
- **$I_{ij}$** : inventario al final del periodo  $i$  de la unidad de familia  $j$ . (unidades)

Para acabar con las variables de decisión, hay que restringir aquellas que necesiten tener valores enteros y aquellas que necesiten tener valores binarios.

- Variables enteras:  $Toc_i, Coc_i, Doc_i, Tpc_i, Cpc_i, Dpc_i, Tom_i, Com_i, Dom_i, Tpm_i, Cpm_i, Dpm_i, Mik, Madq_{ik}, Mvend_{ik}, Pr_{ij}, Pe_{ij}, Ps_{ij}, I_{ij}$
- Variables binarias:  $\delta ofi_{ni}, \delta prod_{ni}$

➤ **Variables auxiliares**

A parte de las variables de decisión, en ocasiones es útil y clarificador definir variables auxiliares que simplifiquen expresiones en los modelos de programación matemática. En este caso se han definido variables relacionadas con el tiempo de ociosidad que experimentan los trabajadores, es decir, el tiempo que los trabajadores tienen remunerado pero que no están siendo productivos. Por otro lado, también se ha definido una variable para el inventario total de todas las unidades de familia.

- **Hocof<sub>i</sub>**: horas ociosas de oficina en el periodo *i*.

$$Hocof_i = (Toc_i \cdot d_i \cdot Hpdc + Tom_i \cdot d_i \cdot Hpdm) - \left( \sum_{j=1}^3 Pr_{ij} \cdot Hufoj \right), \quad \forall i$$

Ecuación 1. Variable auxiliar de horas ociosas de oficina en el periodo *i*.

- **Hocpri**: horas ociosas de producción en el periodo *i*.

$$Hocpri_i = (Tpc_i \cdot d_i \cdot Hpdc + Tpm_i \cdot d_i \cdot Hpdm) - \left( \sum_{j=1}^3 Pr_{ij} \cdot Hufpj \right), \quad \forall i$$

Ecuación 2. Variable auxiliar de horas ociosas de producción en el periodo *i*.

- **Itot<sub>i</sub>**: inventario total al final del periodo *i*. (unidades)

$$Itot_i = \sum_{j=1}^3 I_{ij}, \quad \forall i$$

Ecuación 3. Variable auxiliar de inventario total al final del periodo *i*.

- **Hufp<sub>j</sub>**: horas necesarias de mano de obra en producción por unidad de la familia *j*.

$$Hufp_j = TalmMatP_j + Ttor_j + Tfres_j + Tpleg_j + Tcil_j + Tmont_j + Tsold_j + Tpul_j + TalmProd_j$$

Ecuación 4. Variable auxiliar de horas necesarias de mano de obra en producción por unidad de familia *j*.

➤ **Restricciones**

En cuanto a las restricciones del modelo, a continuación, se explica el objetivo de cada una de ellas. Para relacionar el número de trabajadores con los despidos y contrataciones que se llevan a cabo, será necesario introducir restricciones que reflejen dicho balance. Este balance se realiza tanto para trabadores de oficina como para trabajadores de producción. Así mismo, se realizará también para trabajadores a jornada completa y para trabajadores a media jornada. Además, se limita el número de trabajadores a un rango entre el número de trabajadores fijos considerados y el máximo número de trabajadores en la empresa.

$$\begin{aligned}Toc_i &= Toc_{i-1} + Coc_i - Doc_i, \quad \forall i \\Toc_i &\geq MOfoc, \quad \forall i \\Toc_i &\leq MOfocmax, \quad \forall i\end{aligned}$$

*Ecuación 5. Restricciones de trabajadores de oficina a jornada completa.*

$$\begin{aligned}Tom_i &= Tom_{i-1} + Com_i - Dom_i, \quad \forall i \\Tom_i &\geq MOfom, \quad \forall i \\Tom_i &\leq MOfommax, \quad \forall i\end{aligned}$$

*Ecuación 6. Restricciones de trabajadores de oficina a media jornada.*

$$\begin{aligned}Tpc_i &= Tpc_{i-1} + Cpc_i - Dpc_i, \quad \forall i \\Tpc_i &\geq MOfpc, \quad \forall i \\Tpc_i &\leq MOfpcmax, \quad \forall i\end{aligned}$$

*Ecuación 7. Restricciones de trabajadores de producción a jornada completa.*

$$\begin{aligned}Tpm_i &= Tpm_{i-1} + Cpm_i - Dpm_i, \quad \forall i \\Tpm_i &\geq MOfpm, \quad \forall i \\Tpm_i &\leq MOfpmmax, \quad \forall i\end{aligned}$$

*Ecuación 8. Restricciones de trabajadores de producción a media jornada.*

Respecto a la activación de los turnos de trabajo en la empresa, se ha expresado de la siguiente forma para los tres turnos de oficina. Esta serie de restricciones funcionan en conjunto, de forma que, si se activa un turno superior, el turno inferior continúa estando activo.

$$\begin{aligned}\varepsilon \cdot \delta ofi_{1i} &\leq Toc_i + Tom_i \leq M \cdot \delta ofi_{1i}, \quad \forall i \\ \varepsilon \cdot \delta ofi_{2i} &\leq Toc_i + Tom_i \leq MOfmaxtur + M \cdot \delta ofi_{2i}, \quad \forall i \\ \varepsilon \cdot \delta ofi_{3i} &\leq Toc_i + Tom_i \leq 2 \cdot MOfmaxtur + M \cdot \delta ofi_{3i}, \quad \forall i\end{aligned}$$

*Ecuación 9. Restricciones activación turnos de oficina.*

De forma similar, para los turnos de producción se tiene lo siguiente.

$$\begin{aligned} \varepsilon \cdot \delta prod_{1i} &\leq Tpc_i + Tpm_i \leq M \cdot \delta prod_{1i}, \quad \forall i \\ \varepsilon \cdot \delta prod_{2i} &\leq Tpc_i + Tpm_i \leq Moprmaxtur + M \cdot \delta prod_{2i}, \quad \forall i \\ \varepsilon \cdot \delta prod_{3i} &\leq Tpc_i + Tpm_i \leq 2 \cdot Moprmaxtur + M \cdot \delta prod_{3i}, \quad \forall i \end{aligned}$$

*Ecuación 10. Restricciones activación turnos de producción.*

La constante  $\varepsilon$  es un número positivo muy pequeño (más pequeño que la unidad mínima de variables de decisión de trabajadores), por ejemplo 0'001.

La constante  $M$  es un número positivo muy grande (más grande que el número máximo probable de variables de decisión de trabajadores), por ejemplo 10000.

En cuanto a las horas de producción regular, existe un máximo que depende de la cantidad de trabajadores en plantilla, del número de días productivos y de las horas productivas de cada trabajador.

Para las horas regulares de oficina se tendrá la siguiente restricción.

$$\sum_{j=1}^3 Pr_{ij} \cdot Hufoj \leq Toc_i \cdot d_i \cdot Hpdc + Tom_i \cdot d_i \cdot Hpdm, \quad \forall i$$

*Ecuación 11. Restricción producción regular en oficina.*

Así mismo, para las horas regulares de producción se tendrá la siguiente restricción.

$$\sum_{j=1}^3 Pr_{ij} \cdot Hufpj \leq Tpc_i \cdot d_i \cdot Hpdc + Tpm_i \cdot d_i \cdot Hpdm, \quad \forall i$$

*Ecuación 12. Restricción producción regular en zona de producción.*

Por otro lado, es posible limitar el porcentaje de producción en horas extra realizadas sobre la producción en horas regulares.

$$\sum_{j=1}^3 Pe_{ij} \leq \left( \sum_{j=1}^3 Pr_{ij} \right) \cdot Phe, \quad \forall i$$

*Ecuación 13. Restricción producción en horas extra.*

A su vez, es posible también limitar el porcentaje de unidades subcontratadas sobre la producción en horas regulares.

$$\sum_{j=1}^3 Ps_{ij} \leq \left( \sum_{j=1}^3 Pr_{ij} \right) \cdot Phs, \quad \forall i$$

*Ecuación 14. Restricción producción subcontratada.*

La dirección de la empresa también puede limitar el tiempo ocioso de los trabajadores con las siguientes variables auxiliares y restricciones.

$$\begin{aligned} Hocof_i &\leq HMaxoo, \quad \forall i \\ Hocpr_i &\leq HMaxop, \quad \forall i \end{aligned}$$

*Ecuación 15. Restricciones de horas ociosas.*

A su vez, es necesario introducir restricciones respecto al inventario al final de cada periodo. Primero, se realiza un balance del inventario respecto a cada una de las familias de productos  $j$  consideradas para cada uno de los periodos  $i$ . Además, se considera que el inventario total a final del horizonte de planificación ha de ser nulo y que el inventario total por periodo ha de ser inferior a la capacidad máxima de almacenaje.

$$I_{ij} = I_{i-1,j} + Pr_{ij} + Pe_{ij} + Ps_{ij} - NP_{ij}, \quad \forall i, j$$

$$I_{tot_{12}} = 0$$

$$I_{tot_i} \leq I_{max}, \quad \forall i$$

*Ecuación 16. Restricciones de inventario.*

Por último, es necesario añadir las restricciones correspondientes a los puestos de trabajo en producción. Primero hay que introducir un balance en cada sección, de forma que se considere las adquisiciones y ventas de puestos de trabajo.

$$M_{ik} = M_{i-1,k} + Madq_{ik} - Mvend_{ik}, \quad \forall i, k$$

*Ecuación 17. Restricción balance de puestos de trabajo de la sección  $k$  en el periodo  $i$ .*

Así mismo, la capacidad productiva en cuanto a maquinaria y puestos de trabajo ha de ser superior a la necesaria para producir las unidades en producción regular y en producción en horas extra.

$$hdisp \cdot d_i \cdot M_{ik} \geq \sum_{j=1}^3 (Pr_{ij} + Pe_{ij}) \cdot Hufp_j, \quad \forall i, k$$

*Ecuación 18. Restricción capacidad productiva mínima de la sección  $k$  en el periodo  $i$ .*

Además, el número de máquinas y puestos de trabajo en cada sección  $k$  debe ser inferior a un valor máximo definido por espacio en la nave industrial.

$$M_{ik} \leq Mmax_k, \quad \forall i, k$$

*Ecuación 19. Restricción número máximo de máquinas de la sección  $k$  en el periodo  $i$ .*

Por último, para asegurarse de que todos los trabajadores tengan máquinas y puestos suficientes con los que operar, el número de máquinas y puestos de trabajo ha de ser mayor que el número de trabajadores totales en producción. Hay que tener en cuenta que en muchas de las secciones como las de mecanizados de torneado y fresado, es posible que un solo operario opere y controle varias máquinas simultáneamente.

$$Tpc_i + Tpm_i \leq \sum_k^N M_{ik}$$

*Ecuación 20. Restricción relación entre trabajadores y puestos de trabajo.*

### ➤ **Función objetivo**

La función objetivo es el coste total, el cual se quiere minimizar. Para definir la función objetivo a optimizar en el problema de programación lineal, se van a definir una serie de variables auxiliares para simplificar la nomenclatura y definición de dicha función. Cabe destacar que para calcular el coste de producción regular hay que emplear el dato de horas contratadas (las que ocasionan un coste económico) y no el de horas productivas.

$$\text{Coste prod.reg.} = \sum_{i=1}^{12} [(Toc_i \cdot d_i \cdot Htdc + Tom_i \cdot d_i \cdot Htdm) \cdot Cro + (Tpc_i \cdot d_i \cdot Htdc + Tpm_i \cdot d_i \cdot Htdm) \cdot Crp]$$

*Ecuación 21. Variable auxiliar de coste de producción regular.*

$$\text{Coste producción horas extra} = \sum_{i=1}^{12} \left[ \left( \sum_{j=1}^3 Pe_{ij} \cdot Hufo_j \right) \cdot Ceo + \left( \sum_{j=1}^3 Pe_{ij} \cdot Hufp_j \right) \cdot Cep \right]$$

*Ecuación 22. Variable auxiliar de coste de producción en horas extra.*

$$\text{Coste producción subcontratada} = \sum_{i=1}^{12} \left[ \left( \sum_{j=1}^3 Ps_{ij} \cdot Cso_j \right) + \left( \sum_{j=1}^3 Ps_{ij} \cdot Csp_j \right) \right]$$

*Ecuación 23. Variable auxiliar de coste de producción subcontratada.*

$$\text{Coste ociosidad} = \sum_{i=1}^{12} [\text{Hocof}_i \cdot \text{Coo} + \text{Hocpr}_i \cdot \text{Cop}]$$

*Ecuación 24. Variable auxiliar de coste de ociosidad.*

$$\text{Coste contrataciones} = \sum_{i=1}^{12} [(Coc_i + Com_i) \cdot Cco + (Cpc_i + Cpm_i) \cdot Ccp]$$

*Ecuación 25. Variable auxiliar de coste de contrataciones.*

$$\text{Coste despidos} = \sum_{i=1}^{12} [(Doc_i + Dom_i) \cdot Cdo + (Dpc_i + Dpm_i) \cdot Cdp]$$

*Ecuación 26. Variable auxiliar de coste de despidos.*

Para definir el coste de inventariar, se considera que el inventario al que se le aplica el coste será la media aritmética entre el inventario a principio y a final de cada periodo.

$$\text{Coste de inventariar} = \sum_{i=1}^{12} \left[ \left( \frac{I_i + I_{i-1}}{2} \right) \cdot Cp \right]$$

*Ecuación 27. Variable auxiliar de coste de inventariar.*

$$\text{Coste fijo de turnos activos} = C_{turOf} \cdot \left( \sum_{i=1}^{12} \sum_{k=1}^3 \delta of_{i_{ki}} \right) + C_{turPr} \cdot \left( \sum_{i=1}^{12} \sum_{k=1}^3 \delta prod_{ki} \right)$$

*Ecuación 28. Variable auxiliar de coste fijo de turnos activos.*

$$\text{Coste adquisición puestos} = \sum_{i=1}^{12} \sum_{k=1}^N \text{Cadq}_k \cdot \text{Madq}_{ik}$$

Ecuación 29. Variable auxiliar de coste de adquisición de puestos.

$$\text{Coste venta puestos} = \sum_{i=1}^{12} \sum_{k=1}^N -Pven_k \cdot \text{Mvend}_{ik}$$

Ecuación 30. Variable auxiliar de coste de venta de puestos.

Finalmente, la función objetivo se define como sigue.

$$\begin{aligned} \min z = & \text{Coste producción regular} + \text{Coste producción horas extra} + \text{Coste producción subcontratada} \\ & + \text{Coste ociosidad} + \text{Coste contrataciones} + \text{Coste despidos} + \text{Coste de inventariar} \\ & + \text{Coste fijo de turnos activos} + \text{Coste adquisición puestos} + \text{Coste venta puestos} \end{aligned}$$

Ecuación 31. Función objetivo del Plan Agregado.

### 3. Caso de implantación de la herramienta en la empresa

#### 3.1 Necesidades de producción a medio plazo

Las necesidades de producción a medio plazo en base a unas supuestas previsiones y pedidos comprometidos en los primeros periodos se muestran en la Tabla 5. En total, la empresa fabrica productos de tres tipos de familia. Además, se han contado los días productivos de cada mes, descontando los fines de semana y festivos de los días totales de cada periodo.

Periodo	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Necesidades productos sector farmacéutico (uds)	150	100	90	92	95	58	50	68	85	89	94	108
Necesidades productos sector alimentario (uds)	76	85	97	108	160	175	170	170	150	100	91	85
Necesidades productos sector cosmético (uds)	66	68	74	85	90	92	90	70	130	120	110	90
Días productivos	21	20	21	19	22	22	23	22	21	22	21	21

Tabla 5. Necesidades de producción del Plan Agregado.

La tendencia de demanda para cada una de las familias se ha representado en la Figura 17.

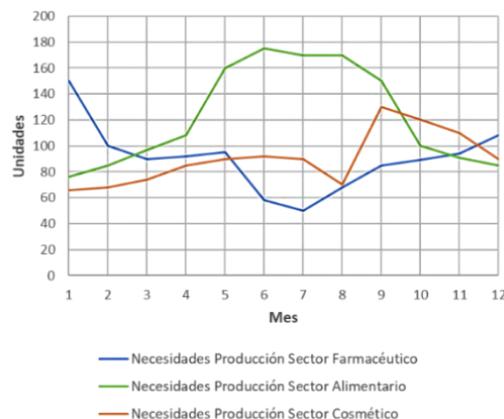


Figura 17. Evolución de la demanda de las familias de productos.

Como se puede observar, la demanda de productos del sector alimentario presenta mayores niveles en los meses de verano, en los últimos de primavera y los primeros de otoño. Sin embargo, en el resto de los meses del año la previsión es de alrededor de la mitad de la máxima registrada en todo el año. En cuanto a la demanda de productos del sector farmacéutico, la curva presenta un comportamiento totalmente contrario a los del sector alimentario ya que justamente en los meses de invierno es cuando la demanda es máxima y en los meses de verano, por contra, es mínima. Por último, respecto a la demanda de productos del sector cosmético, en los primeros ocho meses del año la demanda es inferior que en los últimos cuatro.

En resumen, cada una de las tres familias de productos presenta una curva de demanda distinta con distintos patrones, lo cual plantea un reto a la hora de planificar la producción y los recursos necesarios para llevarla a cabo.

### 3.2 Política aplicada en el plan agregado

En cuanto a las horas contratadas y productivas de cada trabajador se ha considerado los siguientes valores, teniendo en cuenta que el trabajador a jornada completa tiene que parar de producir para comer y por tanto de toda su jornada se perderá mayor tiempo productivo que en el caso de trabajadores a tiempo parcial.

Horas contratadas por trabajador y día a jornada completa (h)	8
Horas productivas por trabajador y día a jornada completa (h)	7
Horas contratadas por trabajador y día a media jornada (h)	4
Horas productivas por trabajador y día a media jornada (h)	3,5

Tabla 6. Horas contratadas y productivas.

Por otro lado, las horas necesarias consideradas de cada unidad de familia en cada sección de la zona de producción se muestran a continuación. Hay que tener en cuenta que estos valores dependen mucho de la empresa, del sistema de producción empleado, de los medios de manutención, etc. Por ello, aquí se han tomado valores más o menos razonables, que, de cualquier forma, la empresa cliente del sistema configuraría según sus propias mediciones y estudios.

Horas necesarias Sección Almacén Materias Primas sector farmacéutico (h/ud)	0,5
Horas necesarias Sección Almacén Materias Primas sector alimentario (h/ud)	0,4
Horas necesarias Sección Almacén Materias Primas sector cosmético (h/ud)	0,4

Tabla 7. Horas necesarias sección almacén de materias primas.

Horas necesarias Sección Torneado sector farmacéutico (h/ud)	0,5
Horas necesarias Sección Torneado sector alimentario (h/ud)	0,7
Horas necesarias Sección Torneado sector cosmético (h/ud)	0,65

Tabla 8. Horas necesarias sección torneado.

Horas necesarias Sección Fresado sector farmacéutico (h/ud)	0,6
Horas necesarias Sección Fresado sector alimentario (h/ud)	0,3
Horas necesarias Sección Fresado sector cosmético (h/ud)	0,8

Tabla 9. Horas necesarias sección fresado.

Horas necesarias Sección Plegado sector farmacéutico (h/ud)	0,7
Horas necesarias Sección Plegado sector alimentario (h/ud)	0,7
Horas necesarias Sección Plegado sector cosmético (h/ud)	0,5

Tabla 10. Horas necesarias sección plegado.

Horas necesarias Sección Cilindrado sector farmacéutico (h/ud)	0,8
Horas necesarias Sección Cilindrado sector alimentario (h/ud)	0,7
Horas necesarias Sección Cilindrado sector cosmético (h/ud)	0,5

Tabla 11. Horas necesarias sección cilindrado.

Horas necesarias Sección Montaje sector farmacéutico (h/ud)	1
Horas necesarias Sección Montaje sector alimentario (h/ud)	1,5
Horas necesarias Sección Montaje sector cosmético (h/ud)	1,4

Tabla 12. Horas necesarias sección montaje.

Horas necesarias Sección Soldadura sector farmacéutico (h/ud)	1
Horas necesarias Sección Soldadura sector alimentario (h/ud)	1,5
Horas necesarias Sección Soldadura sector cosmético (h/ud)	1,4

Tabla 13. Horas necesarias sección soldadura.

Horas necesarias Sección Pulido sector farmacéutico (h/ud)	1
Horas necesarias Sección Pulido sector alimentario (h/ud)	1,5
Horas necesarias Sección Pulido sector cosmético (h/ud)	1,4

Tabla 14. Horas necesarias sección pulido.

Horas necesarias Sección Almacén Productos Terminados sector farmacéutico (h/ud)	0,1
Horas necesarias Sección Almacén Productos Terminados sector alimentario (h/ud)	0,15
Horas necesarias Sección Almacén Productos Terminados sector cosmético (h/ud)	0,08

Tabla 15. Horas necesarias sección almacén de productos terminados.

Así mismo, las horas necesarias consideradas de cada unidad de familia en la oficina se muestran a continuación. Cabe añadir que se suele tomar un valor constante de trabajadores en oficina durante todo el horizonte de planificación, y para aplicarlo en la herramienta es necesario introducir el mismo valor tanto en el número de trabajadores fijos de oficina como en el máximo número de trabajadores de oficina, de forma que el plan final dé como resultado el número de trabajadores de oficina deseado en todos los periodos de planificación.

Horas necesarias de mano de obra en oficina para productos del sector farmacéutico (h/ud)	3
Horas necesarias de mano de obra en oficina para productos del sector alimentario (h/ud)	4
Horas necesarias de mano de obra en oficina para productos del sector cosmético (h/ud)	5

Tabla 16. Horas necesarias en oficina.

Respecto al número de trabajadores inicial se ha considerado lo siguiente.

N.º de trabajadores fijos de oficina a jornada completa	2
N.º de trabajadores fijos de oficina a media jornada	0
N.º de trabajadores fijos de producción a jornada completa	2
N.º de trabajadores fijos de producción a media jornada	0

Tabla 17. Número de trabajadores fijos.

Se ha supuesto que la empresa ha decidido llevar a cabo una estrategia mixta, permitiendo el trabajo a media jornada, pero limitado a cinco trabajadores a media jornada como máximo tanto para la oficina como para la zona de producción.

N.º máximo de trabajadores de oficina a jornada completa por periodo	20
N.º máximo de trabajadores de oficina a media jornada por periodo	5
N.º máximo de trabajadores de producción a jornada completa por periodo	40
N.º máximo de trabajadores de producción a media jornada por periodo	5

Tabla 18. Número máximo de trabajadores.

Así mismo, se ha limitado el número de trabajadores que puede estar en cada turno por limitación espacial y por comodidad de trabajo.

<b>N.º máximo de trabajadores de oficina por turno</b>	15
<b>N.º máximo de trabajadores de producción por turno</b>	25

Tabla 19. Número máximo de trabajadores por turno.

Además, se ha considerado la posibilidad de producir en horas extra hasta un treinta y cinco por cien de la producción regular. De la misma forma, se ha considerado la posibilidad de subcontratación de hasta un veinte por cien de la producción regular. Por otro lado, se ha limitado el número de horas ociosas posibles durante un mes a treinta horas, lo que equivale aproximadamente a una hora diaria como máximo.

<b>Porcentaje máximo de producción en horas extra sobre producción regular</b>	35%
<b>Porcentaje máximo de producción subcontratada sobre producción regular</b>	20%

Tabla 20. Máxima producción en horas extra y subcontratación.

<b>Máximo de horas ociosas de oficina por periodo</b>	30
<b>Máximo de horas ociosas de producción por periodo</b>	30

Tabla 21. Máximo de horas ociosas por periodo.

Además, se han definido limitaciones en cuanto al número máximo de puestos de trabajo y maquinaria debido a la falta de espacio en la nave industrial.

<b>N.º de puestos de trabajo máximos Sección Almacén Materias Primas</b>	5
<b>N.º de puestos de trabajo máximos Sección Torneado</b>	6
<b>N.º de puestos de trabajo máximos Sección Fresado</b>	6
<b>N.º de puestos de trabajo máximos Sección Plegado</b>	6
<b>N.º de puestos de trabajo máximos Sección Cilindrado</b>	2
<b>N.º de puestos de trabajo máximos Sección Montaje</b>	8
<b>N.º de puestos de trabajo máximos Sección Soldadura</b>	8
<b>N.º de puestos de trabajo máximos Sección Pulido</b>	6
<b>N.º de puestos de trabajo máximos Sección Almacén Productos Terminados</b>	5

Tabla 22. Número máximo de puestos.

Se ha considerado que la zona de producción dispone inicialmente de un número determinado de máquinas y puesto de trabajo en cada sección.

<b>N.º actual de puestos de trabajo Sección Almacén Materias Primas</b>	2
<b>N.º actual de puestos de trabajo Sección Torneado</b>	2
<b>N.º actual de puestos de trabajo Sección Fresado</b>	2
<b>N.º actual de puestos de trabajo Sección Plegado</b>	3
<b>N.º actual de puestos de trabajo Sección Cilindrado</b>	1
<b>N.º actual de puestos de trabajo Sección Montaje</b>	6
<b>N.º actual de puestos de trabajo Sección Soldadura</b>	5
<b>N.º actual de puestos de trabajo Sección Pulido</b>	4
<b>N.º actual de puestos de trabajo Sección Almacén Productos Terminados</b>	3

Tabla 23. Número actual de puestos.

A su vez, la plantilla inicial de trabajadores con la que cuenta la empresa es la siguiente.

<b>Plantilla inicial de oficina a jornada completa</b>	6
<b>Plantilla inicial de oficina a media jornada</b>	0
<b>Plantilla inicial de producción a jornada completa</b>	10
<b>Plantilla inicial de producción a media jornada</b>	0

Tabla 24. Plantilla inicial.

El inventario de productos agregado en familias del que dispone la empresa en el momento de la planificación es el mostrado a continuación.

<b>Inventario inicial de productos del sector farmacéutico</b>	5
<b>Inventario inicial de productos del sector alimentario</b>	10
<b>Inventario inicial de productos del sector cosmético</b>	8

Tabla 25. Inventario inicial.

Así mismo, se define un límite de inventario máximo total debido a las restricciones de espacio del almacén de productos terminados.

<b>Inventario máximo total al final del periodo</b>	120
---	-----

Tabla 26. Inventario máximo total.

Respecto a los costes, se han supuesto unos valores coherentes con el tipo de empresa y con el proceso de fabricación.

<b>Coste horario regular en oficina</b>	15 €
<b>Coste horario regular en producción</b>	12 €

Tabla 27. Coste de horas regulares.

<b>Coste de hora extra en oficina</b>	17,5 €
<b>Coste de hora extra en producción</b>	13,5 €

Tabla 28. Coste de horas extra.

<b>Coste extra de hora ociosa en oficina</b>	3 €
<b>Coste extra de hora ociosa en producción</b>	5 €

Tabla 29. Coste extra de horas ociosas.

En el coste de subcontratación, se incluye el coste de perder el control sobre la calidad del producto, por lo que aumenta respecto al valor que tendría sin ese aspecto.

<b>Coste de diseño y gestión por unidad subcontratada para productos del sector farmacéutico</b>	100 €
<b>Coste de fabricación por unidad subcontratada para productos del sector farmacéutico</b>	150 €
<b>Coste de diseño y gestión por unidad subcontratada para productos del sector alimentario</b>	80 €
<b>Coste de fabricación por unidad subcontratada para productos del sector alimentario</b>	110 €
<b>Coste de diseño y gestión por unidad subcontratada para productos del sector cosmético</b>	70 €
<b>Coste de fabricación por unidad subcontratada para productos del sector cosmético</b>	100 €

Tabla 30. Costes de subcontratar.

<b>Coste de mantener una unidad en inventario durante un periodo</b>	1 €
--	-----

Tabla 31. Coste de inventariar.

<b>Coste de contratar a un trabajador de oficina</b>	20 €
<b>Coste de contratar a un trabajador de producción</b>	30 €

Tabla 32. Coste de contratación.

<b>Coste de despedir a un trabajador de oficina</b>	100 €
<b>Coste de despedir a un trabajador de producción</b>	100 €

Tabla 33. Coste de despido.

<b>Coste fijo por activación de un turno de oficina</b>	100 €
<b>Coste fijo por activación de un turno de producción</b>	150 €

Tabla 34. Coste de activación de turnos.

En cuanto a la adquisición de puestos de trabajo, se han supuesto unos costes de compra de maquinaria y de equipos necesarios para desempeñar el trabajo.

Coste de adquisición de puesto de trabajo Sección Almacén Materias Primas	1.200 €
Coste de adquisición de puesto de trabajo Sección Torneado	4.000 €
Coste de adquisición de puesto de trabajo Sección Fresado	7.000 €
Coste de adquisición de puesto de trabajo Sección Plegado	2.500 €
Coste de adquisición de puesto de trabajo Sección Cilindrado	5.000 €
Coste de adquisición de puesto de trabajo Sección Montaje	20 €
Coste de adquisición de puesto de trabajo Sección Soldadura	800 €
Coste de adquisición de puesto de trabajo Sección Pulido	500 €
Coste de adquisición de puesto de trabajo Sección Almacén Productos Terminados	1.200 €

Tabla 35. Costes de adquisición de puestos de trabajo.

Así mismo, si la empresa decide disminuir en algún periodo su capacidad de producción, puede vender la maquinaria a empresas o a particulares.

Precio de venta de puesto de trabajo Sección Almacén Materias Primas	300 €
Precio de venta de puesto de trabajo Sección Torneado	500 €
Precio de venta de puesto de trabajo Sección Fresado	600 €
Precio de venta de puesto de trabajo Sección Plegado	400 €
Precio de venta de puesto de trabajo Sección Cilindrado	1.000 €
Precio de venta de puesto de trabajo Sección Montaje	0 €
Precio de venta de puesto de trabajo Sección Soldadura	50 €
Precio de venta de puesto de trabajo Sección Pulido	60 €
Precio de venta de puesto de trabajo Sección Almacén Productos Terminados	300 €

Tabla 36. Precios de venta de puestos de trabajo.

### 3.3 Análisis de resultados

Los resultados obtenidos relacionados con la producción regular, la producción en horas extra, la producción subcontratada y el inventario proyectado para cada una de las familias de artículos se puede observar en la Figura 18.

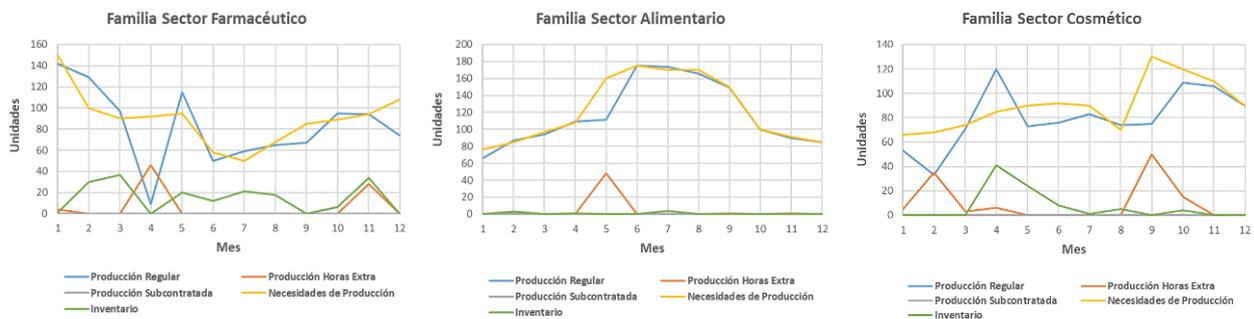


Figura 18. Resultados de producción e inventario del Plan Agregado.

Periodo		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Sector farmacéutico	Prod. Regular	142	129	97	9	115	50	59	65	67	95	94	74
	Prod. Extra	4	0	0	46	0	0	0	0	0	0	28	0
	Prod. Subc.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Inventario	1	30	37	0	20	12	21	18	0	6	34	0
Sector alimentario	Prod. Regular	66	87	94	109	111	175	174	166	149	100	90	85
	Prod. Extra	0	1	0	0	48	0	0	0	1	0	1	0
	Prod. Subc.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Inventario	0	3	0	1	0	0	4	0	0	0	0	0
Sector cosmético	Prod. Regular	53	33	71	120	73	76	83	74	75	109	106	90
	Prod. Extra	5	35	3	6	0	0	0	0	50	15	0	0
	Prod. Subc.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Inventario	0	0	0	41	24	8	1	5º	0	4	0	0

Tabla 37. Resultados numéricos del Plan Agregado.

Tal como se puede observar en la Figura 18, la resolución del modelo ha proporcionado unas curvas de producción regular muy variables que tienden a ajustarse a las curvas de necesidades de producción. Así mismo, en los periodos en los que no es suficiente la producción regular se ha planificado la producción en horas extra, y en los periodos en los que la producción regular ha sido mayor que las necesidades de producción, se ha inventariado parte de dicha producción. A su vez, se puede comprobar que no se ha planificado producción subcontratada debido principalmente a que el coste de subcontratar es mayor que el coste de producir en horas extra. En la Tabla 37. Resultados numéricos del Plan Agregado. se pueden comprobar los resultados numéricos representados en la Figura 18.

De manera particular, se puede observar que, para la familia del sector alimentario, el modelo no se ha decantado por inventariar prácticamente, ya que la producción regular se ajusta considerablemente bien a la curva de necesidades de producción, lo cual tiende a una estrategia de caza. Sin embargo, en las otras dos familias, el modelo ha determinado que es mejor inventariar que ajustar más la producción a las necesidades.

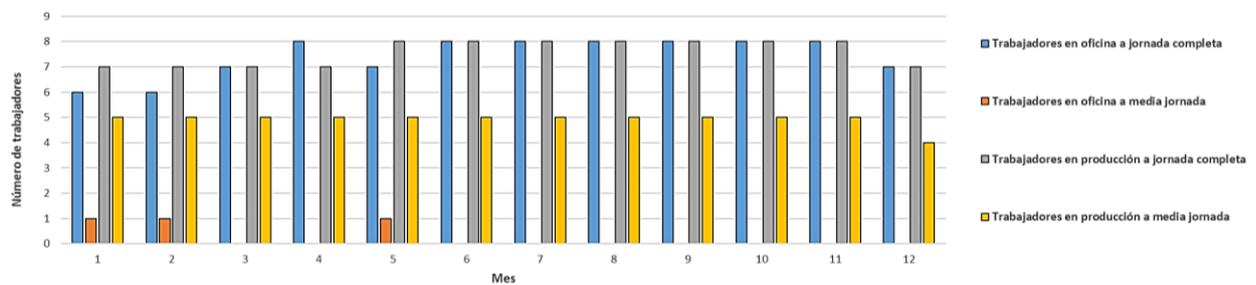


Figura 19. Evolución de la plantilla de trabajadores.

En la Figura 19 se muestra la evolución de la plantilla de trabajadores. Al haber permitido en el modelo el trabajo a media jornada, se ha obtenido que el plan óptimo contiene el trabajo a media jornada de cinco trabajadores en producción (máximo permitido en este ejemplo) excepto en el mes de diciembre donde sólo son necesarios cuatro. En la oficina sólo sería necesario el trabajo a media jornada de un trabajador en enero y en febrero y otro en el mes de mayo. En cuanto al trabajo a jornada completa, en la oficina, en tres meses del año se necesitan siete trabajadores, en dos meses se necesitan seis, y en los otros siete meses se necesitan ocho. Así mismo, en la zona de producción se necesitan ocho trabajadores a jornada completa durante siete meses, y siete trabajadores durante cinco meses.

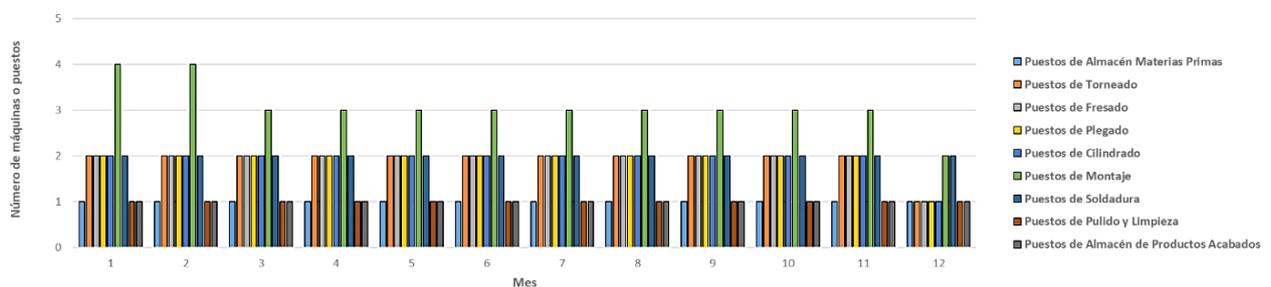


Figura 20. Evolución del número de máquinas y de puestos de trabajo.

En la Figura 20 se muestra la evolución del número de máquinas y de puestos de trabajo en cada una de las secciones de producción para cada uno de los periodos mensuales. Se puede observar que el número de máquinas o de puestos en cada sección es muy estable durante todo el horizonte de planificación, a excepción del mes de diciembre donde algunas secciones necesitan una máquina o puesto menos. Así mismo, la sección de montaje es la sección que más puestos necesita tener, la cual

necesita cuatro puestos durante enero y febrero, tres puestos durante nueve meses y durante diciembre necesita dos puestos.

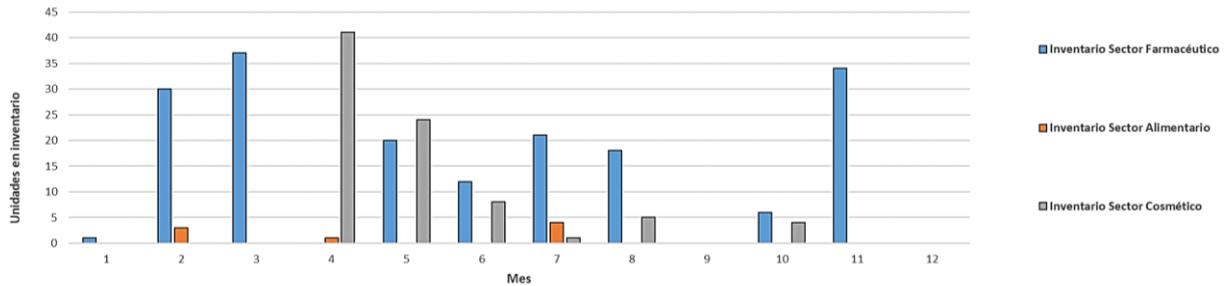


Figura 21. Evolución del inventario.

En la Figura 21 se muestra la evolución del inventario proyectado de las tres familias de productos. Como se puede observar, el inventario de la familia del sector farmacéutico es oscilante, ya que la producción propuesta por el modelo no se ajusta con la curva de demanda, por lo que es necesario inventariar en muchos periodos.

Por otro lado, el inventario de la familia del sector cosmético comienza a aparecer en el mes de abril, que es donde según los resultados de la Figura 18 se produce un pico de producción por encima de la curva de demanda. A medida que pasan los periodos, este inventario se va consumiendo.

Por último, como se observa también en la Figura 21, no existe apenas inventario de productos de la familia del sector alimentario, ya que como se ha visto en la Figura 18, la curva de producción regular se ajusta muy bien a la curva de demanda, por lo que no es necesario inventariar apenas productos de esa familia.

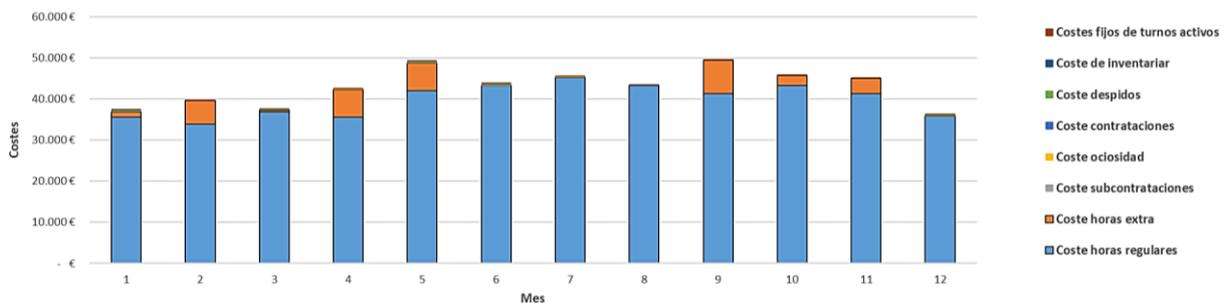


Figura 22. Costes totales por periodo.

En la Figura 22 se muestran los costes totales en cada periodo. Como se puede observar, la mayor parte de los costes proviene del pago de horas regulares a los trabajadores, seguido del pago de horas extra, el cual representa un mayor porcentaje en algunos de los periodos como abril, mayo o septiembre.

## 4. Conclusiones

La herramienta de Plan Agregado proporciona a la empresa la capacidad de tomar decisiones en cuanto a la producción y los recursos de una manera integral y completa.

Es importante comentar que un buen trabajo en cuanto a la recogida y mediciones de los datos de entrada del plan desencadenará en soluciones más realistas y útiles para la planificación.

En el caso de implantación se ha demostrado que el plan es capaz de producir soluciones con resultados coherentes y sin dificultades de cálculo, por lo que, para su uso, es recomendable realizar una investigación exhaustiva con diferentes hipótesis y políticas para posteriormente realizar comparaciones entre ellas y elegir la solución que mejor se ajuste a los criterios establecidos.

## CAPÍTULO 6. PLAN MAESTRO DE LA PRODUCCIÓN

### 1. Introducción

Debido a que los productos están estandarizados, lo más lógico es realizar el plan maestro en el almacén de productos acabados, lo que corresponde con una fabricación contra stock. En dicho plan se deben obtener las recepciones planificadas de los artículos finales con demanda independiente. En este caso, las familias de productos presentadas en el Plan Agregado se desagregan en artículos.

En el Plan Maestro, el horizonte de planificación será de tres meses y los periodos de planificación de una semana. El sistema permite la replanificación cada semana, para lo que será necesario conocer el inventario real al final de cada semana y las próximas recepciones programadas que se espera recibir.

El Plan Maestro se nutre de los resultados del Plan Agregado, el cual restringe la capacidad de producción en cuanto a recursos técnicos y recursos humanos.

De forma global, el sistema pretende encontrar la solución óptima en cuanto a la minimización de los costes totales de lanzamiento y almacenamiento que cumpla las restricciones de capacidad productiva en cada sección y las restricciones impuestas por el usuario con relación al lote a pedir, el inventario máximo o el lote mínimo permitido. Así mismo, como es lógico, el plan obtendrá una solución para cumplir las necesidades de producción de cada producto final.

### 2. Desarrollo de la herramienta de planificación maestra

#### 2.1 Modelo de programación lineal

Las necesidades brutas de cada periodo dependen de la barrera de demanda seleccionada por la empresa, ya que, si un periodo está dentro de la barrera de demanda, tan sólo se considerará la suma de los pedidos comprometidos y de los pedidos extraordinarios, puesto que se considera que no hay tiempo suficiente para asumir la producción de nuevos lotes provenientes de la previsión para dicho periodo. Si, por el contrario, el periodo está fuera de la barrera de demanda, las necesidades brutas son calculadas como la suma de los pedidos extraordinarios y el máximo entre la previsión y los pedidos comprometidos.

Para permitir una buena comprensión del modelo, se va a presentar los índices de la formulación.

#### ➤ Índices

- *i*: periodo de planificación.
- *h*: producto final.
- *k*: centro de trabajo.

#### ➤ Datos de entrada.

Para poder llegar a una solución del problema es necesario partir de unos datos de entrada del modelo.

- **SE:** semana entrante.
- **BD:** barrera de demanda.
- **PR<sub>i</sub>:** previsiones en el periodo *i*.
- **PC<sub>i</sub>:** pedidos comprometidos en el periodo *i*.
- **PE<sub>i</sub>:** pedidos extraordinarios en el periodo *i*.
- **RP<sub>i</sub>:** recepciones programadas en el periodo *i*.
- **I<sub>real</sub>:** inventario real de producto al inicio de la planificación.
- **SS:** stock de seguridad.
- **L<sub>min</sub>:** lote mínimo a planificar.
- **L<sub>mult</sub>:** lote múltiplo a planificar.
- **I<sub>max</sub>:** inventario máximo por periodo.
- **Clan:** coste de lanzar un lote.
- **Calm:** coste de almacenar una unidad de producto durante un periodo.
- **Cud:** coste de producir una unidad de producto.
- **H<sub>hk</sub>:** tiempo necesario en el centro de trabajo *k* para el producto *h*.
- **NMaq<sub>ik</sub>:** número de máquinas en el centro de trabajo *k* en el periodo *i*.
- **N<sub>tur</sub>:** número de turnos de producción.

➤ **Variables de decisión.**

En cuanto a las variables de decisión usadas en el modelo de programación lineal, se distinguen las siguientes.

- **X<sub>i</sub>:** Recepciones planificadas en el periodo *i*.
- **δ<sub>i</sub>:** Binaria de recepción en el periodo *i*. (Su valor es 1 si se recibe en dicho periodo y 0 para lo contrario).
- **n<sub>i</sub>:** Número entero múltiplo de lote en el periodo *i*. (Permite que las recepciones planificadas sean múltiplos de un valor previamente indicado en los datos).

➤ **Variables auxiliares.**

Además, es clarificador utilizar variables auxiliares en el modelo, como las siguientes.

- **NB<sub>i</sub>:** necesidades brutas en el periodo *i*.

Si un periodo está dentro de la barrera de demanda, la fórmula para el cálculo de las necesidades brutas es la siguiente.

$$NB_i = PC_i + PE_i, \quad \forall i$$

Ecuación 32. Variable auxiliar de necesidades brutas del periodo *i* dentro de la barrera de demanda.

Si por el contrario un periodo se sitúa fuera de la barrera de demanda, la fórmula para calcular las necesidades brutas es la siguiente.

$$NB_i = \max(PC_i, PR_i) + PE_i, \quad \forall i$$

Ecuación 33. Variable auxiliar de necesidades brutas en el periodo *i* fuera de la barrera de demanda.

- $I_i$ : inventario de producto proyectado al final del periodo  $i$ .

$$I_i = I_{i-1} + RP_i + X_i - NB_i, \quad \forall i$$

Ecuación 34. Restricción de balance de inventario.

- $C_{li}$ : coste de lanzamiento en el periodo  $i$ .
- $Ca_i$ : coste de almacenamiento en el periodo  $i$ .
- $CalMP_i$ : carga de trabajo en la sección de almacén de materias primas en el periodo  $i$ .
- $Ctor_i$ : carga de trabajo en la sección de torneado en el periodo  $i$ .
- $Cfres_i$ : carga de trabajo en la sección de fresado en el periodo  $i$ .
- $Cpli_i$ : carga de trabajo en la sección de plegado en el periodo  $i$ .
- $Ccil_i$ : carga de trabajo en la sección de cilindrado en el periodo  $i$ .
- $Cmo_i$ : carga de trabajo en la sección de montaje en el periodo  $i$ .
- $Cs_i$ : carga de trabajo en la sección de soldadura en el periodo  $i$ .
- $Cpu_i$ : carga de trabajo en la sección de pulido en el periodo  $i$ .
- $CalMPT_i$ : carga de trabajo en la sección de almacén de productos terminados en el periodo  $i$ .

Para cualquier producto  $h$  en cualquier centro de trabajo o sección  $k$  se tienen las siguientes relaciones. En cuanto a la carga de trabajo de la sección  $k$  en el periodo  $i$  debido a todos los productos  $h$  la relación es la siguiente.

$$C_{ik} = \sum_h^N H_{hk} \cdot X_{hi}$$

Ecuación 35. Carga de trabajo en la sección  $k$  en el periodo  $i$ .

- $RalmMPe_i$ : capacidad de trabajo en la sección de almacén de materias primas en el periodo  $i$ .
- $Rtor_i$ : capacidad de trabajo en la sección de torneado en el periodo  $i$ .
- $Rfres_i$ : capacidad de trabajo en la sección de fresado en el periodo  $i$ .
- $Rpli_i$ : capacidad de trabajo en la sección de plegado en el periodo  $i$ .
- $Rcil_i$ : capacidad de trabajo en la sección de cilindrado en el periodo  $i$ .
- $Rmo_i$ : capacidad de trabajo en la sección de montaje en el periodo  $i$ .
- $Rs_i$ : capacidad de trabajo en la sección de soldadura en el periodo  $i$ .
- $Rpu_i$ : capacidad de trabajo en la sección de pulido en el periodo  $i$ .
- $RalmPT_i$ : capacidad de trabajo en la sección de almacén de prod. terminados en el periodo  $i$ .

Por otro lado, en cuanto a la capacidad de trabajo de cada sección  $k$  en el periodo  $i$ , sabiendo que cada puesto de trabajo está disponible los cinco días a la semana y ocho horas por turno al día, se tiene la siguiente relación.

$$R_{ki} = NMaq_k \cdot N_{tur} \cdot 5 \cdot 8$$

Ecuación 36. Capacidad de trabajo de la sección  $k$  en el periodo  $i$ .

➤ **Restricciones.**

Por otro lado, respecto a las restricciones, el modelo permite indicar un tamaño mínimo de lote para las recepciones planificadas y para cada uno de los productos finales. Para modelizar dicha restricción se ha usado la siguiente formulación.

$$\delta_i \cdot M \geq X_i \geq \delta_i \cdot L_{\min}, \quad \forall i$$

*Ecuación 37. Restricción de tamaño mínimo de lote en el periodo i.*

Siendo M un número muy grande en comparación con los valores habituales de recepciones planificadas, y siendo  $L_{\min}$  el lote mínimo indicado en los datos del problema.

Así mismo, cada producto necesita mantener un stock de seguridad en el inventario para absorber las incertidumbres en cuanto a las necesidades de producción. A continuación, se indica la forma de modelizar la restricción del stock de seguridad.

$$I_i \geq SS, \quad \forall i$$

*Ecuación 38. Restricción de stock de seguridad del periodo i.*

La restricción para modelizar el lote múltiplo se ha realizado con la siguiente igualdad.

$$X_i = n_i \cdot L_{\text{mult}}, \quad \forall i$$

*Ecuación 39. Restricción de pedido múltiplo.*

El inventario no puede tener cualquier cantidad de productos ya que existe una limitación espacial, por lo que es necesario introducir una restricción para limitar el valor de los inventarios.

$$I_i \leq I_{\max}, \quad \forall i$$

*Ecuación 40. Restricción de inventario máximo en el periodo i.*

Al mismo tiempo, para generar un plan maestro factible, es necesario comprobar que la capacidad en las secciones es suficiente para llevar a cabo la producción. Para ello se emplea la Planificación Aproximada de la Capacidad. Existen múltiples técnicas para su aplicación, pero en este caso se ha decidido emplear las Listas de Capacidad. En dicha planificación aproximada se han de comprobar todas las secciones existentes en la empresa: almacén de materias primas, torneado, fresado, plegado, cilindrado, montaje, soldadura, pulido y almacén de productos terminados. Para su implementación en el modelo se han incluido las siguientes restricciones.

$$\begin{aligned} CalmMP_i &\leq RalmMP_i, \quad \forall i \\ Ctor_i &\leq Rtor_i, \quad \forall i \\ Cfres_i &\leq Rfres_i, \quad \forall i \\ Cpl_i &\leq Rpl_i, \quad \forall i \\ Ccil_i &\leq Rcil_i, \quad \forall i \\ Cmo_i &\leq Rmo_i, \quad \forall i \\ Cs_i &\leq Rs_i, \quad \forall i \\ Cpu_i &\leq Rpu_i, \quad \forall i \\ CalmPT_i &\leq RalmPT_i, \quad \forall i \end{aligned}$$

*Ecuación 41. Restricciones de capacidad de trabajo de todas las secciones de la empresa.*

➤ **Función objetivo.**

El objetivo del modelo es minimizar la suma del coste de lanzamiento y de almacenamiento en todos los periodos, por lo que la función objetivo se construye para tal cometido.

$$Cl_{hi} = \delta_{hi} \cdot Clan_h$$

Ecuación 42. Variable auxiliar de coste de lanzamiento del producto  $h$  en el periodo  $i$ .

$$Ca_{hi} = I_{hi} \cdot Cud_h \cdot Calm_h$$

Ecuación 43. Variable auxiliar de coste de almacenamiento del producto  $h$  en el periodo  $i$ .

$$\min z = \sum_{h=1}^{N_{prod}} \sum_{i=1}^{N_{per}} Cl_{hi} + Ca_{hi}$$

Ecuación 44. Función objetivo del Plan Maestro.

### 3. Caso de implantación de la herramienta en la empresa

En este caso de implantación, se supone que los productos que la empresa tiene en catálogo son los incluidos en la Tabla 38. Productos de catálogo.

Producto	ID producto	Descripción
Depósito de agua purificada	F1	Se trata de un depósito de acero inoxidable destinado al almacenamiento de agua purificada para uso farmacéutico. El equipo debe cumplir una serie de normativas europeas y estatales, además de superar una serie de ensayos marcados también por la normativa en vigor.
Almacén de muestras	F2	Se trata de una estantería de acero inoxidable con multitud de cajones para el almacenamiento de muestras del sector farmacéutico. El producto debe cumplir una serie de normativas sanitarias para permitir su venta a tales usos.
Pasteurizador	A1	Se trata de un equipo de acero inoxidable que realiza el proceso de pasteurización, un método de conservación de alimentos líquidos mediante el calentamiento, con el que se pretende eliminar patógenos.
Fermentador de vino	A2	Se trata de un equipo de acero inoxidable que sirve para fermentar el vino durante su producción. Dispone además de un sistema mecánico mezclador.
Mezclador de cremas	C1	Se trata de un depósito de acero inoxidable destinado a mezclar componentes de productos líquidos cosméticos como pueden ser cremas o jabones. Con él se pretende homogeneizar dichos componentes y conseguir la consistencia y textura requeridas.
Dosificadora	C2	Se trata de un depósito de acero inoxidable con un sistema automático de dosificación de producto utilizado en la industria cosmética para llenar envases.

Tabla 38. Productos de catálogo.

#### 3.1 Necesidades detalladas de producción

Las necesidades de producción se calculan teniendo en cuenta la barrera de demanda seleccionada, dentro de la cual sólo es posible atender a los pedidos. En este caso, se ha considerado una barrera de demanda de una semana.

Las necesidades de producción consideradas en este ejemplo para las próximas semanas de cada uno de los productos, es aproximadamente constante con oscilaciones entre los periodos. Dichas necesidades se muestran en las siguientes tablas.

➤ **Producto F1:**

<b>Semana</b>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
<b>Previsión</b>	25	28	37	29	28	33	20	25	28	21	29	23
<b>Pedidos comprometidos</b>	33	36	28	21	29	33	31	35	20	24	22	32
<b>Pedidos extraordinarios</b>	0	1	2	0	0	3	1	2	0	0	1	0

Tabla 39. Necesidades de producción de F1.

➤ **Producto F2:**

<b>Semana</b>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
<b>Previsión</b>	25	27	50	36	40	28	38	46	25	38	48	49
<b>Pedidos comprometidos</b>	34	35	44	36	39	41	32	36	44	36	37	4
<b>Pedidos extraordinarios</b>	0	2	2	1	0	1	1	1	0	1	1	0

Tabla 40. Necesidades de producción de F2.

➤ **Producto A1:**

<b>Semana</b>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
<b>Previsión</b>	24	23	24	29	30	21	28	30	28	25	24	30
<b>Pedidos comprometidos</b>	30	30	21	23	24	27	30	22	29	23	28	24
<b>Pedidos extraordinarios</b>	0	2	2	1	1	0	1	1	0	1	1	0

Tabla 41. Necesidades de producción de A1.

➤ **Producto A2:**

<b>Semana</b>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
<b>Previsión</b>	24	26	16	21	25	30	25	19	17	16	19	25
<b>Pedidos comprometidos</b>	30	21	26	26	29	25	17	18	24	19	24	29
<b>Pedidos extraordinarios</b>	1	2	1	1	3	0	1	0	0	0	0	0

Tabla 42. Necesidades de producción de A2.

➤ **Producto C1:**

<b>Semana</b>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
<b>Previsión</b>	0	12	10	11	15	16	22	11	13	7	7	6
<b>Pedidos comprometidos</b>	1	11	10	11	14	14	15	16	12	7	6	6
<b>Pedidos extraordinarios</b>	1	4	3	2	0	1	2	1	0	0	1	1

Tabla 43. Necesidades de producción de C1.

➤ **Producto C2:**

<b>Semana</b>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
<b>Previsión</b>	10	15	15	16	13	17	17	18	14	13	13	10
<b>Pedidos comprometidos</b>	9	20	23	15	13	16	16	18	13	12	13	7
<b>Pedidos extraordinarios</b>	0	2	1	3	0	0	2	0	1	1	1	0

Tabla 44. Necesidades de producción de C2.

### 3.2 Datos de entrada aplicados en la planificación maestra

Para establecer los datos de entrada del modelo, es necesario un estudio pormenorizado de cada uno de los productos.

El inventario máximo permitido de cada producto será el correspondiente al espacio disponible para dicho producto en el almacén de productos finales. Así mismo, el stock de seguridad será aquel necesario para absorber la variabilidad de la demanda, el cual será distinto para cada producto.

El lote mínimo deberá tener en cuenta el tiempo de transporte o de preparación de las máquinas, ya que en ocasiones es más rentable lanzar un número mínimo de unidades para compensar el tiempo necesario y no productivo en las máquinas. El lote múltiplo, en cambio tiene que ver con otros aspectos como por ejemplo el espacio en los vehículos de entrega de los productos, entre otros.

Los datos de entrada del sistema para cada producto se muestran a continuación.

<b>ID Producto</b>	F1
<b>Descripción producto</b>	Depósito de agua purificada
<b>Stock de seguridad</b>	2
<b>Lote mínimo</b>	1
<b>Lote múltiplo</b>	5
<b>Inventario máximo</b>	20
<b>Coste producción (€/ud)</b>	80 €
<b>Coste lanzamiento (€/orden)</b>	200 €
<b>Coste almacenamiento (€/(€·semana))</b>	0,5

Tabla 45. Datos del producto F1.

<b>ID Producto</b>	F2
<b>Descripción producto</b>	Almacén de muestras
<b>Stock de seguridad</b>	3
<b>Lote mínimo</b>	1
<b>Lote múltiplo</b>	2
<b>Inventario máximo</b>	25
<b>Coste producción (€/ud)</b>	30 €
<b>Coste lanzamiento (€/orden)</b>	60 €
<b>Coste almacenamiento (€/(€·semana))</b>	0,5

Tabla 46. Datos del producto F2.

<b>ID Producto</b>	A1
<b>Descripción producto</b>	Pasteurizador
<b>Stock de seguridad</b>	4
<b>Lote mínimo</b>	1
<b>Lote múltiplo</b>	1
<b>Inventario máximo</b>	30
<b>Coste producción (€/ud)</b>	90 €
<b>Coste lanzamiento (€/orden)</b>	70 €
<b>Coste almacenamiento (€/(€·semana))</b>	0,5

Tabla 47. Datos del producto A1.

<b>ID Producto</b>	A2
<b>Descripción producto</b>	Fermentador de vino
<b>Stock de seguridad</b>	5
<b>Lote mínimo</b>	2
<b>Lote múltiplo</b>	1
<b>Inventario máximo</b>	20
<b>Coste producción (€/ud)</b>	100 €
<b>Coste lanzamiento (€/orden)</b>	90 €
<b>Coste almacenamiento (€/(€·semana))</b>	0,6

Tabla 48. Datos del producto A2.

<b>ID Producto</b>	C1
<b>Descripción producto</b>	Mezclador de cremas
<b>Stock de seguridad</b>	4
<b>Lote mínimo</b>	1
<b>Lote múltiplo</b>	1
<b>Inventario máximo</b>	40
<b>Coste producción (€/ud)</b>	70 €
<b>Coste lanzamiento (€/orden)</b>	26 €
<b>Coste almacenamiento (€/(€·semana))</b>	0,25

Tabla 49. Datos del producto C1.

<b>ID Producto</b>	C2
<b>Descripción producto</b>	Dosificadora
<b>Stock de seguridad</b>	10
<b>Lote mínimo</b>	5
<b>Lote múltiplo</b>	5
<b>Inventario máximo</b>	70
<b>Coste producción (€/ud)</b>	20 €
<b>Coste lanzamiento (€/orden)</b>	12 €
<b>Coste almacenamiento (€/(€·semana))</b>	0,05

Tabla 50. Datos del producto C2.

Así mismo, los datos de tiempos de proceso de los productos en cada sección teniendo en cuenta tanto el tiempo de preparación como el de proceso, se muestran a continuación.

	<b>Sección</b>	Alm. Mat. P.	Tor.	Fres.	Pleg.	Cil.	Mont.	Sold.	Pul.	Alm. Prod. T.
<b>Productos</b>	F1	0,1	0,5	0,2	0	0,5	1	0,8	0,65	0,1
	F2	0,2	0	0,3	0,3	0	0,9	0,85	0,5	0,1
	A1	0,15	0	0	0,5	0,4	0,8	0,75	0,7	0,2
	A2	0,22	0	0,4	0,6	0,6	0,8	0,8	0	0,15
	C1	0,16	0,3	0	0	0,7	0,6	0,7	0,6	0,11
	C2	0,25	0	0,45	0,55	0	0,65	0	0	0,2

Tabla 51. Tiempos de sección para cada producto.

Además, es necesario también introducir el número de turnos de producción con los que se trabaja y el número de máquinas y puestos de trabajo de cada una de las secciones en cada periodo, teniendo en cuenta máquinas averiadas, máquinas en mantenimiento, máquinas de nueva incorporación, etc. En este caso se ha considerado que la empresa trabaja a un único turno de producción.

Número de turnos de producción	1
--------------------------------	---

Tabla 52. Dato de número de turnos de producción.

Periodo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
N.º de puestos almacén materias primas	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
N.º de puestos sección torneado	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
N.º de puestos sección fresado	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
N.º de puestos sección plegado	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
N.º de puestos sección cilindrado	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1
N.º de puestos sección montaje	4	4	4	4	3	3	4	4	4	4	3	3
N.º de puestos sección soldadura	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
N.º de puestos sección pulido	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4
N.º de puestos almacén productos terminados	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2

Tabla 53. Datos de secciones de producción.

### 3.3 Análisis de resultados

Tras la resolución del problema de programación lineal, los resultados obtenidos en relación con las recepciones planificadas e inventario proyectado para cada uno de los productos de catálogo se muestran en las gráficas adjuntas a continuación.

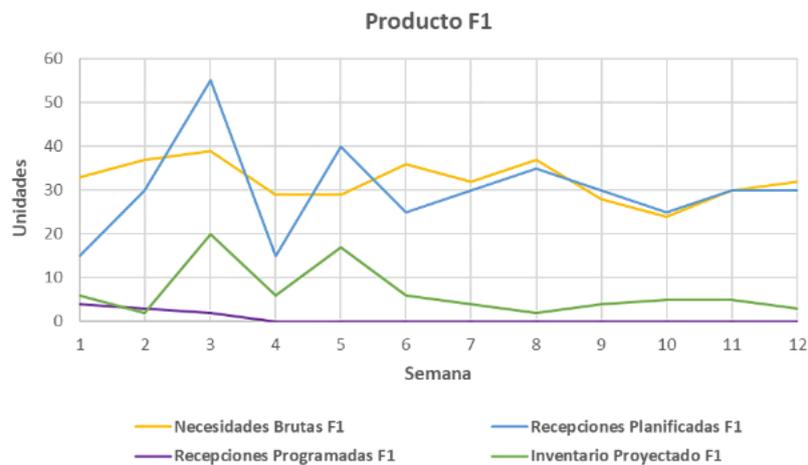


Figura 23. Resultados del Plan Maestro para el producto F1.

En la Figura 23 se observan los resultados relativos al producto F1. Las recepciones planificadas que han resultado del problema se ajustan más a las necesidades brutas en los últimos periodos de planificación, pero en los primeros periodos hay ocasiones en las que se produce más de lo que se necesita y por tanto aumenta el nivel de inventario. Lo contrario también ocurre, ya que hay momentos en los que se ha planificado menos cantidad de la necesaria, por lo que el inventario disminuye. Así mismo, las recepciones programadas que está previsto tener en los primeros periodos proporcionan una menor necesidad de producción al principio.

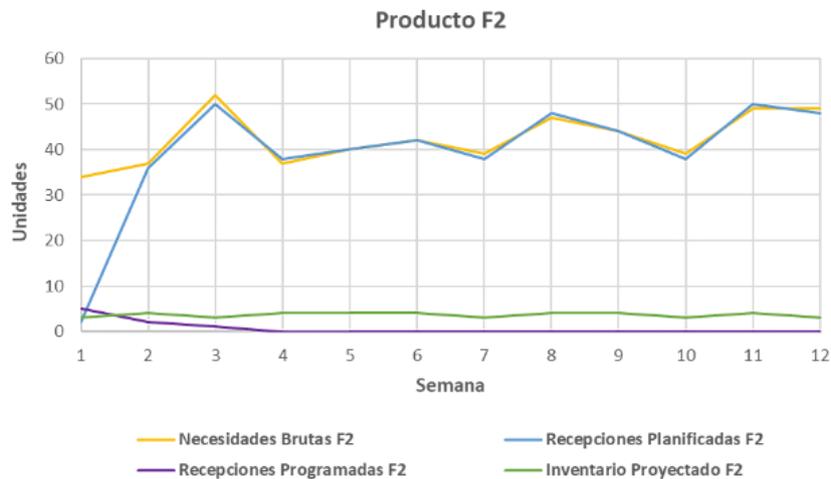


Figura 24. Resultados del Plan Maestro para el producto F2.

En la Figura 24 se muestran los resultados del producto F2. En este caso se observa que las recepciones planificadas se ajustan a las necesidades brutas prácticamente en todos los periodos de planificación excepto en el primer periodo, lo cual puede ser debido a que entre el inventario inicial y las recepciones programadas en el primer periodo ya es suficiente para cubrir las necesidades. Además, se observa que el nivel de inventario ha permanecido prácticamente constante a lo largo del horizonte de planificación y prácticamente igual al stock de seguridad, aunque en algunos periodos el inventario es una unidad mayor que dicho stock de seguridad.

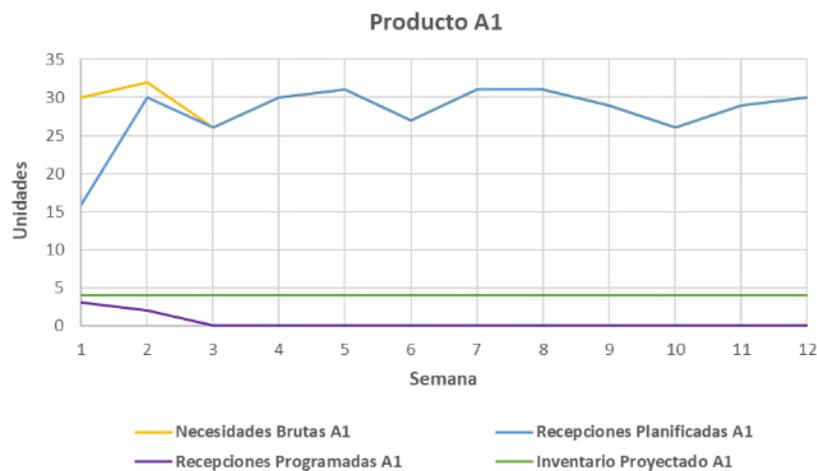


Figura 25. Resultados del Plan Maestro para el producto A1.

En la Figura 25 se muestran los resultados del producto A1. En este caso también se observa un pleno ajuste de las recepciones planificadas con las necesidades brutas, lo cual hace que el inventario resulte ser en todos los periodos exactamente igual al stock de seguridad.

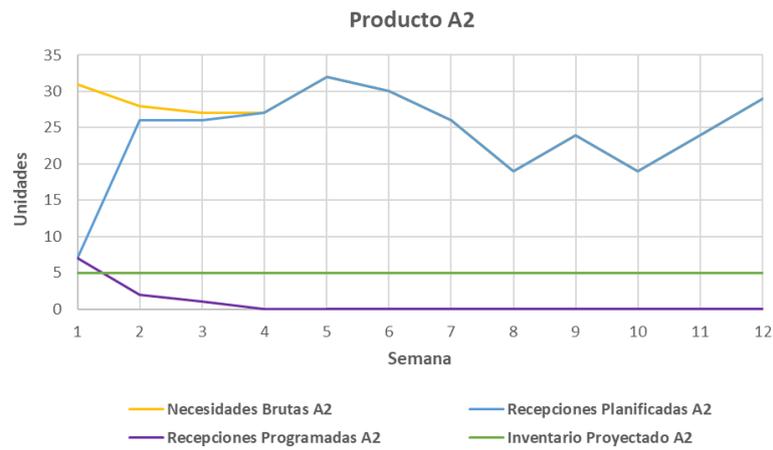


Figura 26. Resultados del Plan Maestro para el producto A2.

En la Figura 26 se muestran los resultados del producto A2. Al igual que para el producto A1, el inventario se mantiene constante e igual al stock de seguridad y las recepciones planificadas se ajustan perfectamente a las necesidades brutas.

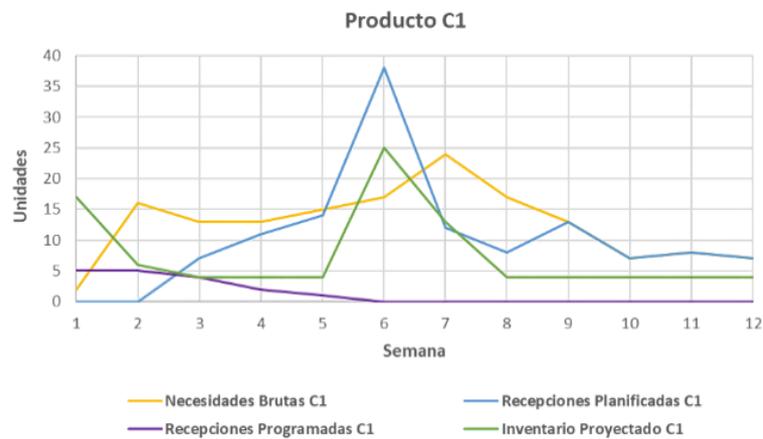


Figura 27. Resultados del Plan Maestro para el producto C1.

En la Figura 27 se muestran los resultados del producto C1. En este caso, las recepciones planificadas ya no se ajustan a las necesidades de producción si no que se juega con el inventario aumentando y disminuyendo su nivel. Destaca la sexta semana, donde se produce un pico de producción, lo cual aumenta considerablemente el inventario.

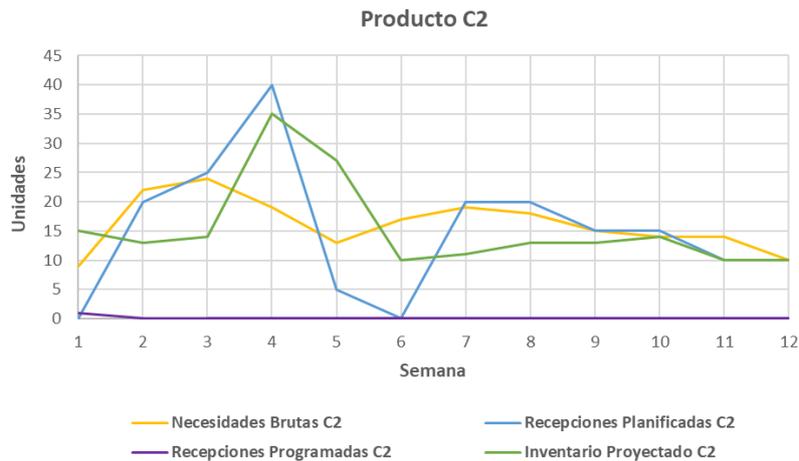


Figura 28. Resultados del Plan Maestro para el producto C2.

En la Figura 28 se muestran los resultados del producto C2. Este es un caso con bastante interés ya que el modelo ha determinado que es óptimo no recibir pedidos en la sexta semana. Además, como en el producto C1, las recepciones no se ajustan a las necesidades, lo cual genera una gran variabilidad en el inventario.

#### 4. Conclusiones

Se ha desarrollado una herramienta de Planificación Maestra configurable que da libertad en cuanto a la definición de cada producto y de los parámetros del lote o inventario máximo. La adición de nuevos artículos es muy sencilla y el sistema permite replanificar el plan maestro cada semana sabiendo el inventario real inicial de cada uno de los productos. Además, se pueden introducir los datos de capacidad productiva que hay durante el horizonte de planificación para comprobar si es factible la producción necesaria sin sobrepasar la capacidad de la fábrica.

En resumen, la herramienta de Plan Maestro propuesta da a la empresa la capacidad de generar planes de una manera sencilla y rápida.

## CAPÍTULO 7. PLAN DE REQUERIMIENTOS DE MATERIALES

### 1. Introducción

El Plan de Requerimientos de Materiales (MRP) permite realizar el cálculo de las necesidades de producción de los componentes de los productos. Para su desarrollo hay que partir del resultado del Plan Maestro en cuanto a las recepciones planificadas de los productos demandados por los clientes. En el Plan de Materiales se definen las recepciones y lanzamientos planificados de cada uno de los componentes, tanto en fecha como en cantidad.

Para su desarrollo, es necesario disponer de las listas de materiales de cada uno de los productos. Dichas listas de materiales definirán las fórmulas de las necesidades brutas en cada periodo de cada componente.

Hay que tener en cuenta que la necesidad se encuentra en aquel periodo en el que el componente “padre” es lanzado, ya que existen tiempos de suministro o fabricación que hay que respetar.

### 2. Desarrollo de la herramienta de planificación de materiales

#### 2.1 Modelo de programación lineal

El Plan de Requerimientos de Materiales del sistema de planificación propuesto, se divide en niveles según la jerarquía marcada por las listas de materiales. En el nivel cero se encuentran los productos finales cuyas recepciones planificadas ya se conocen de los resultados del Plan Maestro, en el nivel uno se encuentra los ensamblajes o partes más grandes de las que se componen los productos y en los niveles dos, tres y superiores se encuentran los componentes más pequeños y simples.

Cabe destacar que el resultado de este plan son las recepciones y lanzamientos planificados de cada componente. No todos los componentes generarán órdenes de fabricación, debido a que muchos de ellos son comprados y pedidos a proveedores, por eso, no todos los lanzamientos planificados tendrán una necesidad de capacidad de producción.

En la planificación de materiales, al igual que en el plan maestro, se pueden restringir las recepciones planificadas de los componentes según un lote mínimo o un múltiplo de lote. Así mismo, es posible establecer un stock de seguridad para absorber la dispersión de los pedidos.

En este plan se va a tener en cuenta el tiempo de suministro o *Lead Time* de cada componente o producto, que es el tiempo que se tarda en fabricar (en caso de órdenes de fabricación) o en recibir (en caso de órdenes de compra). Esto se tendrá en cuenta en la diferencia de tiempo entre las recepciones y los lanzamientos planificados. De esta manera, los lanzamientos planificados se situarán adelantados el tiempo equivalente al *Lead Time* respecto a las recepciones planificadas esperadas. Es importante tener en cuenta que para que el plan sea factible, no hay que permitir recepciones planificadas en el periodo donde ya no es posible lanzar la orden, debido a que el tiempo restante hasta la recepción planificada es inferior al propio *Lead Time* del componente.

En primer lugar, se va a definir los índices con los que se ha formulado el modelo.

➤ **Índices**

- *i*: periodo de planificación.
- *h*: componente.

➤ **Datos de entrada**

Los datos de entrada necesarios para resolver el plan de requerimientos de materiales son los siguientes.

- **Día entrante.**
- **ID producto:** identificador del producto o componente.
- **Descripción producto:** breve descripción del producto o componente.
- **$SS_h$ :** stock de seguridad del componente *h*.
- **$LT_h$ :** tiempo total de fabricación o suministro del componente *h*.
- **$L_{minh}$ :** lote mínimo a pedir del componente *h*.
- **$L_{mult h}$ :** múltiplo de lote a pedir del componente *h*.
- **$I_{maxh}$ :** Inventario máximo del componente *h* en cada periodo.
- **$C_{udh}$ :** coste de producir una unidad de componente *h*.
- **$C_{lanh}$ :** coste de lanzamiento de un lote del componente *h*.
- **$C_{almh}$ :** coste de almacenar una unidad monetaria del componente *h* en un periodo de planificación.
- **$I_{realh}$ :** inventario real al inicio del periodo de planificación del componente *h*.
- **$RP_{ih}$ :** recepciones programadas en el periodo *i* del componente *h*.

➤ **Variables de decisión**

En cuanto a las variables de decisión del modelo se encuentran las siguientes.

- **$X_{ih}$ :** Recepciones planificadas del componente *h* en el periodo *i*.
- **$\delta_{ih}$ :** Binaria de recepción del componente *h* en el periodo *i*. (Su valor es 1 si se recibe en dicho periodo y 0 para lo contrario).
- **$n_{ih}$ :** Número entero múltiplo de lote del componente *h* en el periodo *i*. (Permite que las recepciones planificadas sean múltiplos de un valor previamente indicado en los datos).

Variables enteras:  $X_{ih}$

Variables binarias:  $\delta_{ih}$ ,  $n_{ih}$

➤ **Variables auxiliares**

En cuanto a las variables auxiliares calculadas automáticamente se distinguen las siguientes.

- **$NB_{ih}$ :** necesidades brutas en el periodo *i* del componente *h*.
- **$I_{ih}$ :** inventario de producto al principio del periodo *i* del componente *h*.

$$I_{i+1,h} = I_{ih} + RP_{ih} + X_{ih} - NB_{ih}$$

Ecuación 45. Inventario proyectado en el periodo  $i+1$  del componente  $h$ .

- **$NN_{ih}$** : necesidades netas en el periodo  $i$  del componente  $h$ .

$$NN_{ih} = NB_{ih} + SS_h - I_{ih} - RP_{ih}$$

Ecuación 46. Necesidades netas en el periodo  $i$  del componente  $h$ .

- **$LP_{ih}$** : lanzamientos planificados en el periodo  $i$  del componente  $h$ .
- **$Y_{ih}$** : binaria de permiso para recibir del componente  $h$ .
- **$Cl_{ih}$** : coste de lanzamiento en el periodo  $i$  del componente  $h$ .
- **$Ca_{ih}$** : coste de almacenamiento en el periodo  $i$  del componente  $h$ .
- **$CalMP_i$** : carga de trabajo en la sección de almacén de materias primas en el periodo  $i$ .
- **$Ctor_i$** : carga de trabajo en la sección de torneado en el periodo  $i$ .
- **$Cfres_i$** : carga de trabajo en la sección de fresado en el periodo  $i$ .
- **$Cpli_i$** : carga de trabajo en la sección de plegado en el periodo  $i$ .
- **$Ccil_i$** : carga de trabajo en la sección de cilindrado en el periodo  $i$ .
- **$Cmo_i$** : carga de trabajo en la sección de montaje en el periodo  $i$ .
- **$Cs_i$** : carga de trabajo en la sección de soldadura en el periodo  $i$ .
- **$Cpu_i$** : carga de trabajo en la sección de pulido en el periodo  $i$ .
- **$CalMPT_i$** : carga de trabajo en la sección de almacén de productos terminados en el periodo  $i$ .
- **$RalmMPe_i$** : capacidad de trabajo en la sección de almacén de materias primas en el periodo  $i$ .
- **$Rtor_i$** : capacidad de trabajo en la sección de torneado en el periodo  $i$ .
- **$Rfres_i$** : capacidad de trabajo en la sección de fresado en el periodo  $i$ .
- **$Rpli_i$** : capacidad de trabajo en la sección de plegado en el periodo  $i$ .
- **$Rcil_i$** : capacidad de trabajo en la sección de cilindrado en el periodo  $i$ .
- **$Rmo_i$** : capacidad de trabajo en la sección de montaje en el periodo  $i$ .
- **$Rs_i$** : capacidad de trabajo en la sección de soldadura en el periodo  $i$ .
- **$Rpu_i$** : capacidad de trabajo en la sección de pulido en el periodo  $i$ .
- **$RalmPT_i$** : capacidad de trabajo en la sección de almacén de prod. terminados en el periodo  $i$ .

### ➤ Restricciones

En cuanto a las restricciones del modelo se encuentran las siguientes para cada uno de los componentes. El modelo permite indicar un tamaño mínimo de lote. Para modelizar dicha restricción se ha usado la siguiente formulación.

$$\delta_{ih} \cdot M \geq X_{ih} \geq \delta_{ih} \cdot L_{\min h}, \quad \forall i, h$$

Ecuación 47. Restricción de tamaño mínimo de lote en periodo  $i$  del componente  $h$ .

Siendo  $M$  un número muy grande en comparación con los valores habituales de recepciones planificadas, y siendo  $L_{\min h}$  el lote mínimo indicado en los datos del problema.

Así mismo, cada producto necesita mantener un stock de seguridad en el inventario para absorber las incertidumbres de demanda. A continuación, se indica la forma de modelizar la restricción del stock de seguridad.

$$I_{ih} \geq SS_h, \quad \forall i, h$$

*Ecuación 48. Restricción de stock de seguridad en periodo i.*

La restricción para modelizar el lote múltiple se ha realizado con la siguiente igualdad, la cual indica que las recepciones planificadas deben ser un número entero múltiplo de un valor definido de antemano.

$$X_{ih} = n_{ih} \cdot L_{\text{mult}h}, \quad \forall i, h$$

*Ecuación 49. Restricción de tamaño de lote múltiplo en el periodo i del componente h.*

Así mismo, el inventario no puede tener cualquier volumen de productos ya que existe una limitación espacial, por lo que es necesario introducir una restricción para limitar el nivel de los inventarios de cada producto.

$$I_{ih} \leq I_{\text{max}h}, \quad \forall i, h$$

*Ecuación 50. Restricción de inventario máximo en el periodo i del componente h.*

Además, para generar un plan de requerimientos de materiales factible, es necesario comprobar que la capacidad en las secciones es suficiente para llevar a cabo la producción planificada. Para ello se emplea la Planificación de necesidades de Capacidad (CRP). En dicha planificación de capacidad se han de comprobar todas las secciones existentes en la empresa: almacén de materias primas, torneado, fresado, plegado, cilindrado, montaje, soldadura, pulido y almacén de productos terminados. Para su implementación en el modelo se han incluido las siguientes restricciones:

$$\begin{aligned} CalmMP_i &\leq RalmMP_i, \quad \forall i \\ Ctor_i &\leq Rtor_i, \quad \forall i \\ Cfres_i &\leq Rfres_i, \quad \forall i \\ Cpl_i &\leq Rpl_i, \quad \forall i \\ Ccil_i &\leq Rcil_i, \quad \forall i \\ Cmo_i &\leq Rmo_i, \quad \forall i \\ Cs_i &\leq Rs_i, \quad \forall i \\ Cpu_i &\leq Rpu_i, \quad \forall i \\ CalmPT_i &\leq RalmPT_i, \quad \forall i \end{aligned}$$

*Ecuación 51. Restricciones de capacidad de todas las secciones en el periodo i.*

Por último, es necesario incluir una restricción para impedir que se recepciones en aquellos periodos en los que no hay tiempo para fabricar o recibir la cantidad de productos pedida.

$$X_{ih} \leq Y_{ih} \cdot M$$

*Ecuación 52. Restricción de impedimento de recepción en el periodo i del componente h.*

Siendo M un número muy grande en comparación con los valores habituales de recepciones planificadas.

### ➤ **Función objetivo**

El objetivo del modelo es minimizar la suma del coste de lanzamiento y de almacenamiento en todos los periodos, por lo que la función objetivo se construye para tal cometido.

$$Cl_{hi} = \delta_{hi} \cdot Cl_{an_h}$$

Ecuación 53. Variable auxiliar de coste de lanzamiento del componente h en el periodo i.

$$Ca_{hi} = I_{hi} \cdot Cud_h \cdot Calm_h$$

Ecuación 54. Variable auxiliar de coste de almacenamiento del componente h en el periodo i.

$$\min z = \sum_{h=1}^{N_{comp}} \sum_{i=1}^{N_{per}} Cl_{hi} + Ca_{hi}$$

Ecuación 55. Función objetivo del Plan de Requerimientos de Materiales.

### 3. Caso de implantación de la herramienta en la empresa

Se ha supuesto que los seis productos planteados se componen de las siguientes listas de materiales, en las que se ha indicado cuáles son los componentes de los productos y en qué cantidad son necesarios. El color azul indica nivel cero o nivel del plan maestro, el color naranja el nivel uno, el verde el nivel dos y el rojo el nivel tres. Dichas listas de materiales se introducen en el sistema a partir de una matriz en la que se indica cuál es la cantidad necesaria de componentes para fabricar una unidad de otro. Un ejemplo de matriz se puede observar en el Caso de listas de materiales de los Anejos.

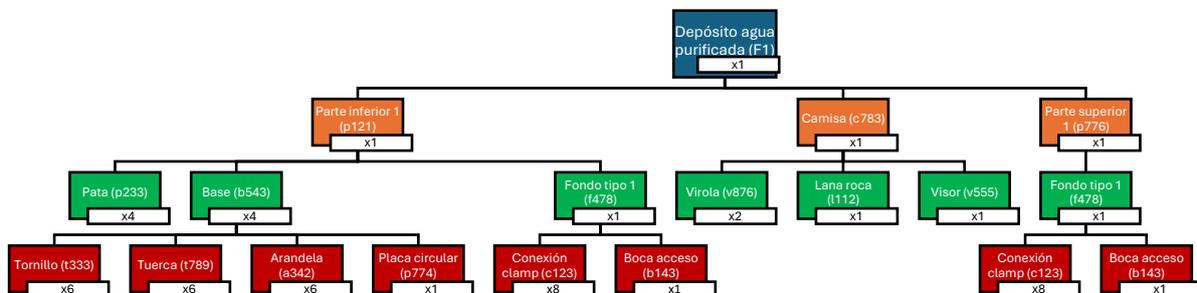


Figura 29. Lista de materiales del producto F1.

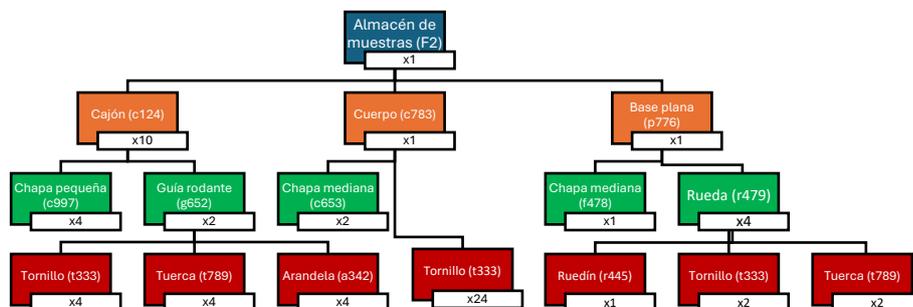


Figura 30. Lista de materiales del producto F2.

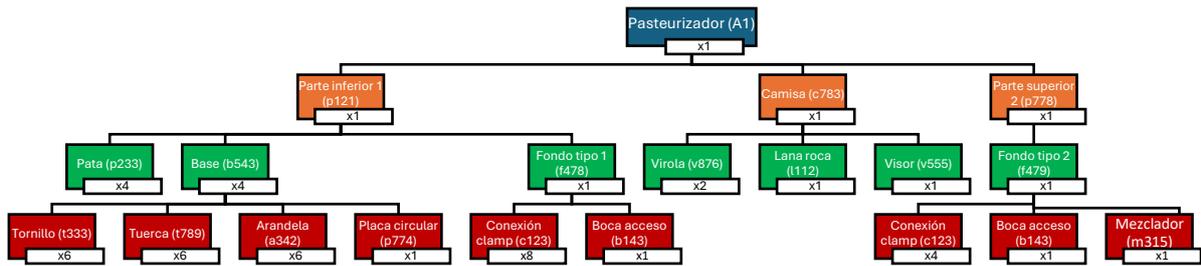


Figura 31. Lista de materiales del producto A1.

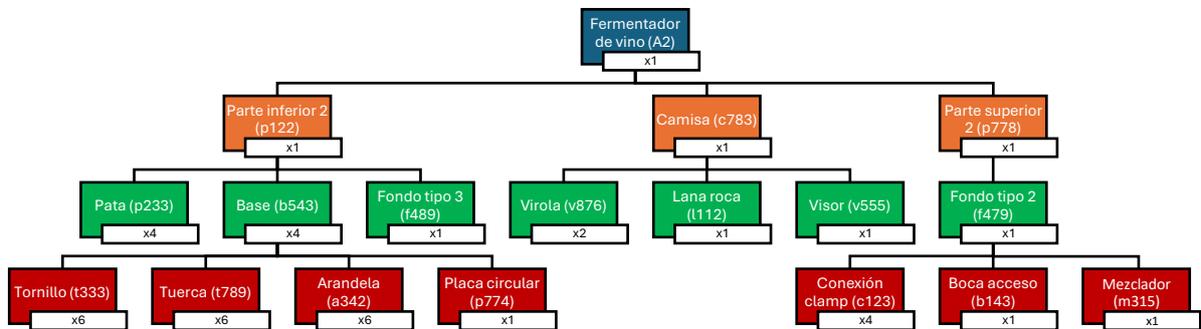


Figura 32. Lista de materiales del producto A2.

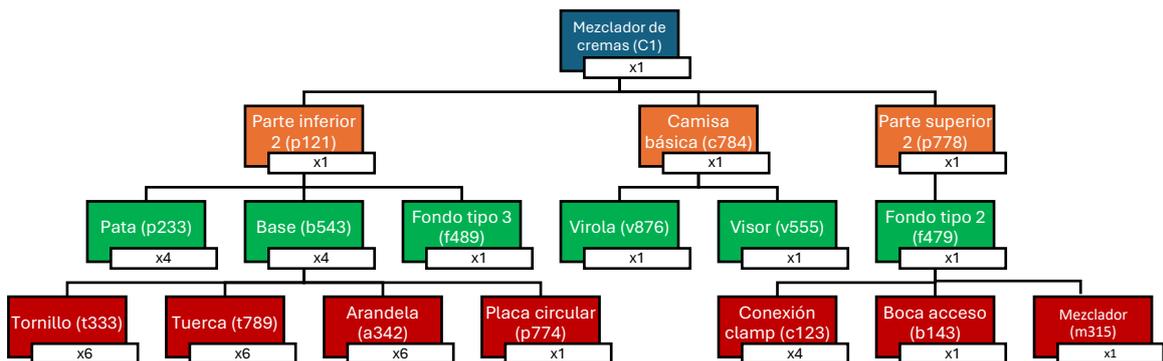


Figura 33. Lista de materiales del producto C1.

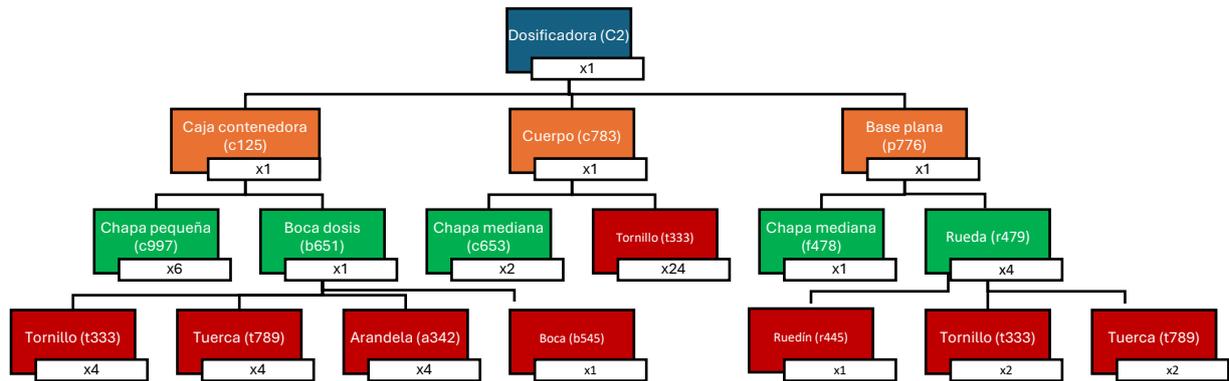


Figura 34. Lista de materiales del producto C2.

### 3.1 Necesidades detalladas de producción

Las necesidades de producción de cada uno de los productos finales cuya demanda es independiente de otros lanzamientos y las cuales se habrían obtenido a partir del resultado de la planificación maestra, se detalla a continuación.

Periodo		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Depósito agua purificada	F1	0	0	0	2	3	1	1	0	1	2	2	0	1	0	0
Almacén de muestras	F2	0	0	0	0	2	4	3	2	3	1	1	1	1	2	1
Pasteurizador	A1	0	0	1	0	1	2	2	3	1	0	1	0	1	0	1
Fermentador de vino	A2	0	0	2	2	1	3	1	1	0	0	1	0	0	0	1
Mezclador de cremas	C1	0	1	0	1	0	2	0	0	1	0	0	1	1	1	0
Dosificadora	C2	0	0	0	1	2	2	1	0	1	0	1	1	1	0	0

Tabla 54. Necesidades de producción de los productos finales.

### 3.2 Condiciones aplicadas en la planificación de materiales

En este caso se han supuesto unos datos para cada uno de los componentes. Entre ellos, se encuentra el stock de seguridad, el *Lead Time* (tiempo de suministro), el lote mínimo, el lote múltiplo, el inventario máximo para ese componente, el coste de producción de una unidad de componente, el coste de lanzamiento y el coste de almacenamiento. Para el cálculo posterior de los lanzamientos planificados se tendrá en cuenta el inventario inicial de cada componente. En este caso de aplicación, el inventario inicial de los productos terminados se considera nulo.

Componente	ID	Inventario inicial	Stock seguridad	Lead Time	Lote mínimo	Lote múltiplo	Inventario máximo	Coste (€/ud.)	Coste lanzamiento (€/orden)	Coste almacenamiento (€/€/periodo)
Parte inferior 1	p121	10	5	1	0	5	20	60	40	2
Camisa	c783	7	5	1	0	2	10	50	30	2
Parte superior 1	p776	12	5	0	2	1	25	35	20	2
Cajón	c124	30	6	1	0	4	100	35	15	2
Cuerpo	c783	15	8	0	0	2	25	42	20	2
Base plana	p776	15	2	1	0	1	25	31	22	2
Parte superior 2	p778	14	6	0	0	1	25	34	10	2
Parte inferior 2	p122	16	5	0	0	1	25	35	20	2
Camisa básica	c784	18	0	0	0	1	25	37	21	2
Caja contenedora	c125	18	7	0	0	1	25	32	28	2
Pata	p233	50	10	0	0	1	100	10	5	0,5
Base	b543	100	10	0	0	1	150	5	3	0,2
Fondo tipo 1	f478	13	2	0	0	1	30	12	8	1
Virola	v876	6	3	0	0	1	12	90	20	3
Lana roca	l112	10	5	0	0	1	20	10	5	1
Visor	v555	12	8	0	0	1	25	35	15	1,2
Chapa pequeña	c997	15	4	0	0	1	25	55	28	2
Guía rodante	g652	16	15	0	0	1	30	31	20	2
Chapa mediana	c653	12	6	0	0	1	35	35	22	1,5
Rueda	r479	11	10	0	0	1	55	35	20	1,4
Fondo tipo 2	f479	16	5	0	0	1	22	27	11	3,5
Fondo tipo 3	f489	17	2	0	0	1	28	38	14	3
Boca dosis	b651	15	12	0	0	1	25	45	20	1,8
Tornillo	t333	500	50	0	0	1	1000	0,5	0,01	0
Tuerca	t789	300	50	0	0	1	1000	2	1	0,02
Arandela	a342	300	30	0	0	1	2000	0,4	0,03	0
Placa circular	p774	16	12	0	0	1	25	18	3	1
Conexión clamp	c123	13	10	0	0	1	25	30	20	2
Boca acceso	b143	15	3	0	0	1	25	35	25	1,5
Ruedín	r445	17	2	0	0	1	25	40	20	1,6
Mezclador	m315	19	8	0	0	1	25	33	12	0,4
Boca	b545	16	10	0	0	1	25	32	26	2,5

Tabla 55. Condiciones de los componentes.

### 3.3 Análisis de resultados

Las recepciones planificadas, inventarios proyectados, necesidades netas y recepciones programadas se han representado en los siguientes gráficos, donde se han incluido algunos ejemplos de cada nivel de la jerarquía en las listas de materiales.

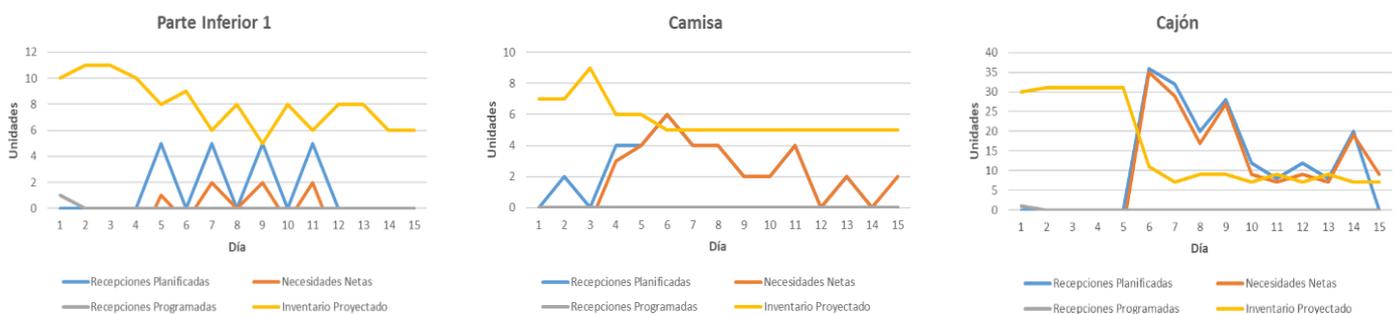


Figura 35. Resultados de componentes de Nivel 1.

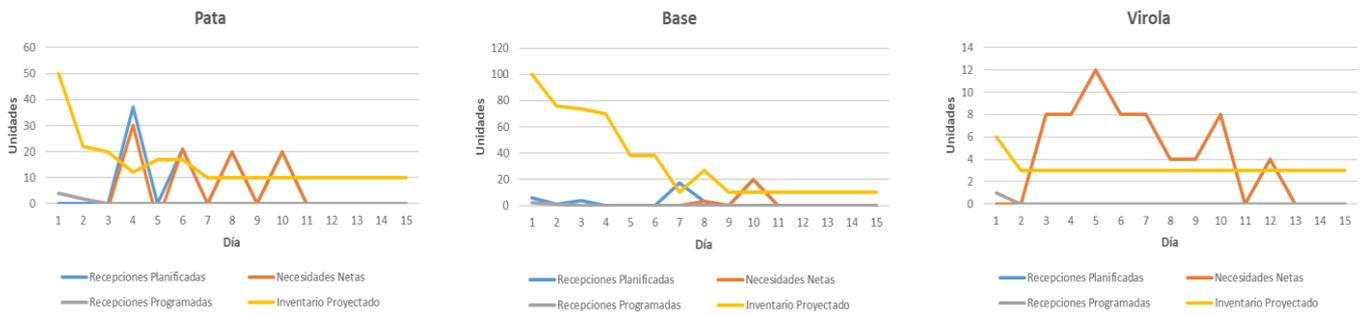


Figura 36. Resultados de componentes de Nivel 2.

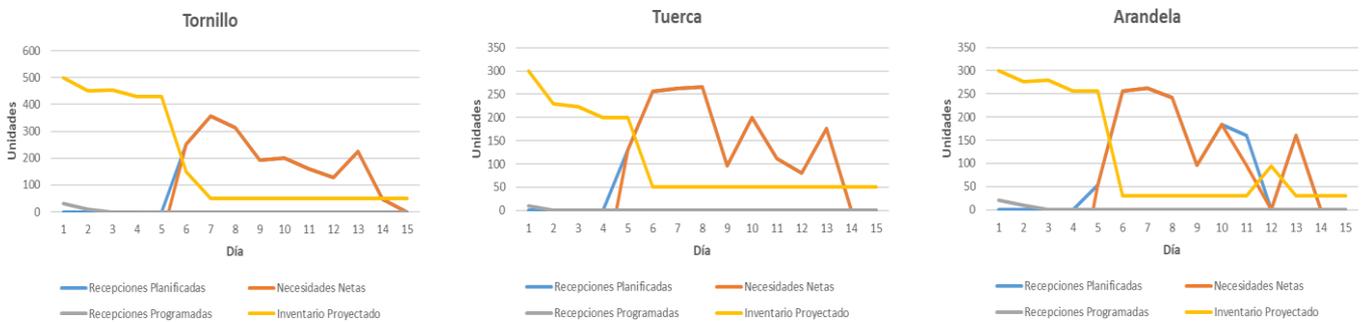


Figura 37. Resultados de componentes de Nivel 3.

Como se puede observar en la Figura 35, en la Figura 36 y en la Figura 37, en ocasiones las recepciones planificadas coinciden con las necesidades netas, lo cual hace que el inventario planificado no experimente variaciones. Al contrario, en aquellos componentes en los que las recepciones planificadas no coinciden con las necesidades netas, existe variación del inventario, el cual varía siempre dentro del rango comprendido entre el inventario máximo establecido y el stock de seguridad.

#### 4. Conclusiones

Se ha planteado una herramienta de Planificación de Requerimientos de Materiales que da libertad en cuanto a la definición de cada componente y de los parámetros del lote o inventario máximo, así como del tiempo de suministro. La adición de nuevos componentes es inmediata y el sistema permite replanificar el plan cada día si se desea, sabiendo el inventario real inicial de cada uno de los componentes y materiales. Además, se pueden introducir los datos de capacidad productiva que hay durante el horizonte de planificación para comprobar si es factible la producción necesaria sin sobrepasar la capacidad existente.

## CAPÍTULO 8. PROGRAMACIÓN DE LA PRODUCCIÓN

### 1. Introducción

La programación de la producción busca secuenciar las órdenes de fabricación de la forma más eficiente posible. En general se trata de asignar recursos (máquinas y puestos de trabajo) a las órdenes de trabajo a realizar, definiendo a la vez la fecha de inicio de cada una de las operaciones de las órdenes de fabricación. En el entorno del proceso de Planificación de la Producción de la empresa, la programación se sitúa en el nivel más bajo y operativo de la producción.

Las técnicas y teorías empleadas para la resolución de los problemas de programación de la producción dependen entre otros aspectos de la configuración del sistema de producción y de la secuencia de operaciones de las órdenes de fabricación pendientes. En el caso objeto del presente trabajo, cada orden de fabricación presenta un orden en las operaciones distinto y se prevé que futuros productos necesiten hojas de ruta totalmente diferentes a las existentes, incluso pudiendo necesitar nueva maquinaria o nuevos centros de trabajo. Por eso, para abordar este problema se va a partir de las herramientas de secuenciación desarrolladas para un taller general flexible o *Jobshop flexible*.

Los problemas *Jobshop* aparecen cuando se cuenta con un taller general donde el orden de operaciones de cada orden de fabricación varía considerablemente. El problema *Jobshop flexible* es una extensión del problema *Jobshop*, donde en cada centro de trabajo hay varias máquinas en paralelo que pueden realizar operaciones.

Debido a la gran complejidad y tiempo de cálculo necesario en la resolución de los problemas exactos de *Jobshop* o *Jobshop flexible*, se ha decidido emplear métodos heurísticos, muchos de los cuales proporcionan soluciones de alta calidad en tiempos razonables, a pesar de que no aportan la solución óptima. En concreto se va a emplear un algoritmo basado en técnicas de lanzamiento.

### 2. Desarrollo de la herramienta de programación de la producción

El taller dispone de varias secciones y dentro de cada sección es capaz de disponer varias máquinas o puestos de trabajo. Se va a considerar que todas las máquinas dentro de un mismo centro de trabajo o sección ejecutan las operaciones en el mismo tiempo de procesamiento.

Para la generación del sistema de programación de la producción se ha programado un algoritmo heurístico basado en técnicas de lanzamiento que aporta soluciones aceptables, a pesar de que no es posible asegurar la optimalidad de estas. El código del algoritmo se ha desarrollado e implementado en *Matlab*, aunque dicho código también es compatible con el software libre *Octave*. Los datos de entrada son obtenidos a partir de una lectura del archivo *Excel* del plan de producción. Tras realizar los cálculos en *Matlab*, los datos de salida de la programación son también escritos en *Excel*.

Para realizar un sistema robusto y flexible a posibles cambios en cuanto a las secciones o a las máquinas, se ha planteado la posibilidad de eliminar o añadir nuevas secciones y máquinas o puestos de trabajo en el interior de las secciones.

En primer lugar, es necesario definir claramente la nomenclatura a seguir para implementar el algoritmo en un código de programación, el cual se muestra a continuación.

- $r_{ij}$ : fecha de disponibilidad de la operación  $i$  en la máquina  $j$ .
- $rp_{ij}$ : fecha más temprana en la que puede comenzar la operación  $i$  en la máquina  $j$ .
- $f_j$ : fecha de disponibilidad de la máquina  $j$  para realizar una nueva operación.
- $fp_j$ : fecha más temprana de inicio de una operación en la máquina  $j$ .
- $p_{ij}$ : tiempo de proceso (preparación + ejecución) de la operación  $i$  en la máquina  $j$ .
- $d_i$ : fecha máxima de entrega de la orden de fabricación  $i$ .
- $h_i$ : número de operación de la orden de fabricación  $i$ .
- $Finic_{ij}$ : fecha de inicio de la operación  $i$  en la máquina  $j$ .
- $Ffin_{ij}$ : fecha de finalización de la operación  $i$  en la máquina  $j$ .

La herramienta de Programación de la Producción cuenta con una hoja de cálculo incluido en el sistema de *Excel* del Plan de Producción. En ella, como ya se ha dicho, es posible configurar el taller en cuanto a su topología, de forma que existe la libertad de incluir tantos centros de trabajo y tantas máquinas en dichos centros como se quiera.

En la plantilla de cada sección se introduce el nombre de la sección del taller, el número identificador global de dicha sección, y la información de cada una de las máquinas que componen la sección, tanto el nombre definido como su número identificador global de la máquina en todo el taller.

Por otro lado, el sistema permite introducir tantas órdenes de fabricación como se requiera, con la información mínima necesaria para hacer funcionar el algoritmo de programación. Para la introducción de los datos, se rellenan los siguientes campos en el sistema para cada orden de fabricación: orden de operaciones, tiempos de proceso (preparación + procesamiento) en cada operación,  $r_i$  y  $d_i$ .

Una vez introducidos todos los datos necesarios, tanto del taller como de las órdenes de fabricación, será necesario abrir *Matlab* u *Octave* y ejecutar el *script* que resuelve el problema. Tras ello, aparecerá automáticamente en el sistema el programa de producción con todos los datos de secuenciación junto con un diagrama de Gantt de la secuencia en cada máquina del taller.

En resumen, para emplear la herramienta de programación de la producción planteada se ha de seguir el proceso mostrado en la Figura 38.

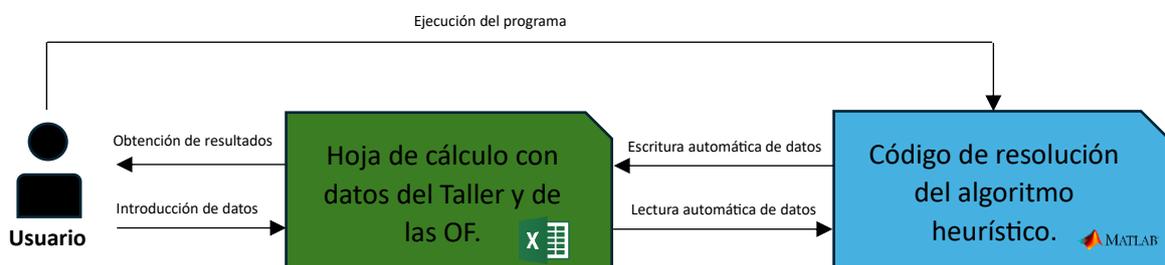


Figura 38. Modo de empleo de la herramienta de Programación de la Producción.

El proceso de resolución comienza con la lectura de *Matlab* de los datos de la hoja de cálculo, tanto del taller como de las órdenes de fabricación. Después, el código, a partir de los datos leídos, calcula el número de órdenes de fabricación existentes, el número de operaciones necesarias para cada orden de fabricación y el número de secciones por las que ha de pasar cada una, reorganiza los datos de tiempos de operación, los tiempos más tempranos de proceso de las órdenes de trabajo, las fechas de entrega de cada orden, etc.

Además, se inicializan algunas variables de programación en el código que serán necesarias para la resolución como pueden ser las tablas de aplicación del algoritmo.

Ya en el proceso de resolución propiamente dicho, se asignan las primeras operaciones de todas las órdenes de fabricación en aquellas máquinas dentro de las secciones necesarias que tengan el menor tiempo de proceso pendiente. Para cada una de las operaciones asignadas se calcula el  $rp_i$  correspondiente. Una vez asignadas todas las primeras operaciones, se procede a calcular el  $fp_j$  de todas las máquinas.

A continuación, se selecciona aquella máquina con menor  $fp_j$  y de todas las órdenes de fabricación pendientes por hacer en ella se filtran aquellas que cumplen que su  $rp_i$  es igual que la  $fp_j$  de la máquina. Así mismo, de las órdenes filtradas se secuencia aquella que optimice la regla heurística empleada como puede ser la SOT (tiempo de operación más corto), la EDD (fecha de entrega más temprana) o la MS (holgura estática). Tras la selección de dicha orden de fabricación, se calcula la fecha de inicio de la operación, su fecha de fin y se indica la sección siguiente. Además, se actualiza la  $f_j$ , las  $rp_i$  de las órdenes restantes en la máquina y también la  $fp_j$ .

Para la selección de la máquina en la sección siguiente de la orden programada, se elige aquella con menor suma de tiempos de proceso pendientes. Tras ello, se actualiza en la nueva máquina la  $rp_i$  de la nueva orden de fabricación pendiente y también la  $fp_j$  de la máquina.

Hay que tener en cuenta que, si no hay siguiente máquina ni operación, el código salta este paso. Una vez completada la iteración de asignación de la operación, se comienza con otra iteración hasta que no queden más operaciones pendientes en las máquinas.

Finalmente, habiendo resuelto el problema, *Matlab* escribe los resultados de inicio y tiempo de proceso de cada una de las operaciones en la hoja *Excel* del Programa de Producción. Ya dentro de la hoja *Excel*, se obtiene el diagrama de Gantt de la secuencia de operaciones con la identificación de cada orden con su nombre y con un color distinto.

A continuación, se ha adjuntado un diagrama de flujo del algoritmo de resolución del problema, el cual pretende resumir y aclarar el proceso.

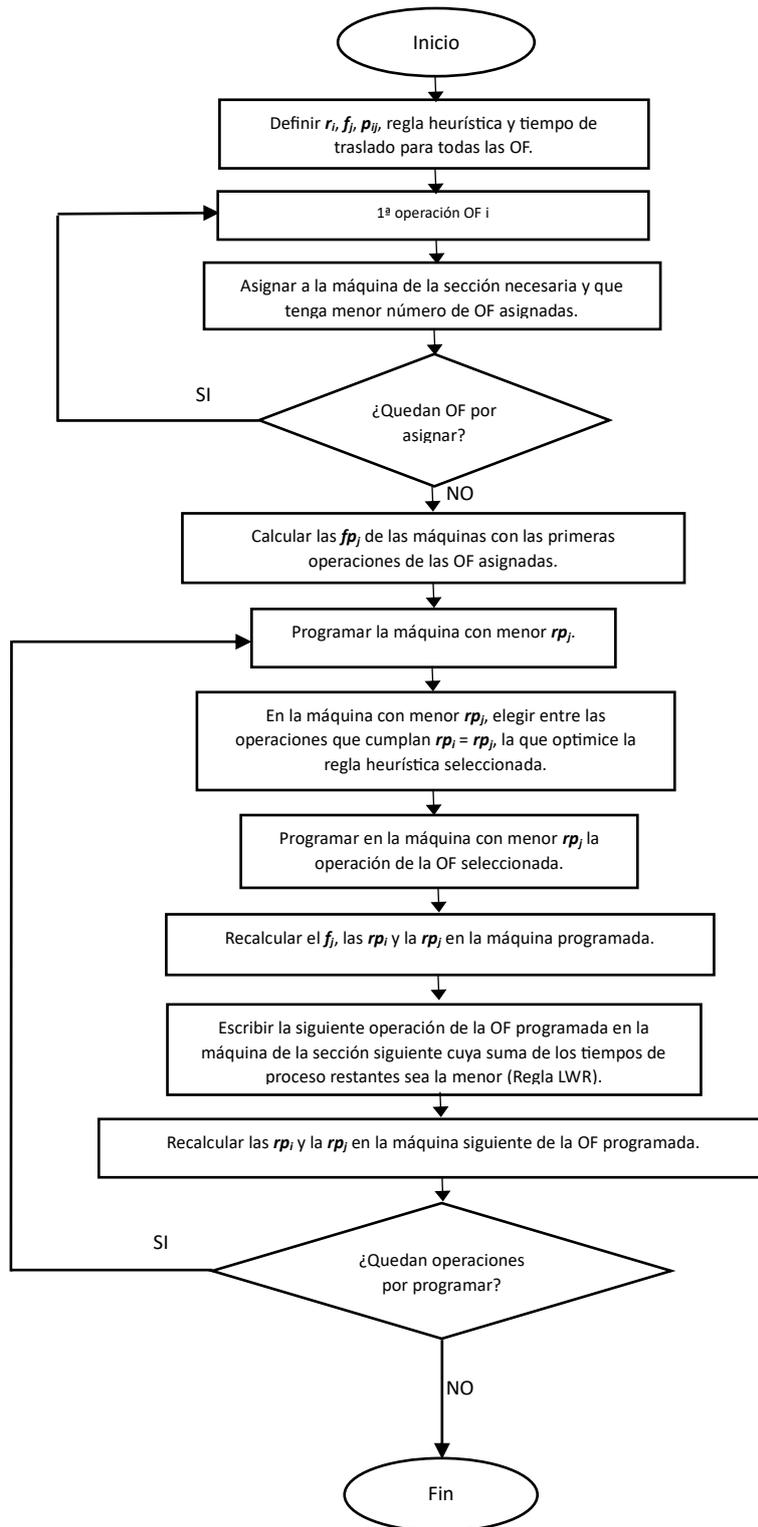


Figura 39. Algoritmo heurístico planteado para Taller general flexible.

### 3. Caso de implantación de la herramienta en la empresa

#### 3.1 Órdenes de fabricación

En el caso de ejemplo para la implantación de la herramienta en la empresa se han introducido diez órdenes a realizar antes de acabar la jornada de trabajo. Los  $p_{ij}$ , los  $r_i$  y los  $f_j$  se han indicado en minutos. Cada uno de los trabajos llevan un número identificador de la orden, el cual servirá para distinguirlos en la representación de la evolución de las operaciones en el diagrama de Gantt resultante. Un ejemplo de hojas de ruta introducidas en el sistema se puede ver en el Caso de hojas de ruta de los Anejos.

OF	ID	1ª Op.	Tiempo	2ª Op.	Tiempo	3ª Op.	Tiempo	4ª Op.	Tiempo	5ª Op.	Tiempo	6ª Op.	Tiempo	$r_i$	$d_i$
Base circular	1	AMP	10	TOR	15	FRES	20	CIL	12	SOL	30	APT	12	10	170
Caja contenedora	2	AMP	8	FRES	25	PLEG	20	MONT	50	APT	14			20	140
Cuerpo	3	AMP	20	PLEG	16	CIL	35	SOL	40	APT	15			30	115
Base	4	AMP	15	TOR	18	FRES	24	SOL	32	APT	12			10	100
Mezcladora	5	AMP	20	CIL	40	TOR	15	SOL	22	APT	20			0	130
Parte superior	6	AMP	10	FRES	20	MONT	40	PUL	50	APT	11			0	105
Parte inferior	7	AMP	16	FRES	30	TOR	30	CIL	35	PUL	60	APT	10	25	240
Boca dosis	8	AMP	22	PLEG	38	CIL	26	MONT	41	APT	12			30	168
Fondo tipo 1	9	AMP	10	FRES	20	PLEG	18	SOL	25	TOR	20	APT	8	12	187
Fondo tipo 2	10	AMP	18	TOR	28	FRES	25	CIL	30	PLEG	32	APT	20	0	210

Figura 40. Datos de órdenes de fabricación.

#### 3.2 Condiciones aplicadas en la programación de la producción

El taller disponible para la ejecución de las órdenes de fabricación anteriores está compuesto por las siguientes secciones y máquinas dispuestas en la Figura 41. Los  $f_j$  de cada máquina están expresados en minutos.

Sección	Puesto de trabajo	Nº puesto de trabajo	$f_j$ (min)
Almacén materias primas	Almacén MP 1	1	10
	Almacén MP 2	2	0
	Almacén MP 3	3	20
Torneado	Torneado 1	4	40
	Torneado 2	5	10
Fresado	Fresado 1	6	0
	Fresado 2	7	0
	Fresado 3	8	15
	Fresado 4	9	0
Plegado	Plegado 1	10	18
	Plegado 2	11	30
	Plegado 3	12	30
Cilindrado	Cilindrado 1	13	0
	Cilindrado 2	14	10
Montaje	Montaje 1	15	20
	Montaje 2	16	20
	Montaje 3	17	0
Soldadura	Soldadura 1	18	15
	Soldadura 2	19	0
	Soldadura 3	20	0
	Soldadura 4	21	10
Pulido	Pulido 1	22	20
	Pulido 2	23	0
	Pulido 3	24	10
Almacén productos terminados	Almacén PT 1	25	10
	Almacén PT 2	26	20

Figura 41. Topología y condiciones del taller.

### 3.3 Análisis de resultados

Los resultados de secuenciación de las órdenes de fabricación planteadas en el taller considerado y usando la regla SOT se resumen en el siguiente diagrama de Gantt obtenido como resultado del sistema.



Figura 42. Diagrama de Gantt de la secuencia de operaciones con la regla SOT.

Así mismo, si se emplea la regla EDD para programar las órdenes de fabricación, se obtiene el siguiente diagrama de Gantt.



Figura 43. Diagrama de Gantt de la secuencia de operaciones con la regla EDD.

En la Figura 42 se muestra el diagrama de Gantt resultante habiendo aplicado la regla SOT. En el eje vertical se indican todas las máquinas del taller y en el eje horizontal se representan los tiempos de proceso. Como se puede observar, cada orden se indica con un color diferente y con su número identificativo, y la longitud de las barras indica el tiempo de proceso de cada operación. Como se puede comprobar, la gran mayoría de órdenes de fabricación tienen una secuencia sin esperas, aunque en ocasiones hay alguna operación en la que sí es necesario esperar. Al aplicar métodos heurísticos se ha de tener en cuenta que las soluciones obtenidas no son óptimas y dependen fuertemente de las reglas heurísticas empleadas. En este caso se ha utilizado la regla SOT (menor tiempo de proceso) para programar las operaciones y la regla LWR (menor cantidad de trabajo restante) para seleccionar la máquina dentro de la sección siguiente.

Si se revisa los datos de la hoja de cálculo, se puede ver que el diagrama de Gantt muestra una solución que respeta el orden de todas las operaciones, los tiempos de disponibilidad de las máquinas y de las operaciones, y los tiempos de proceso. Sin embargo, hay algunas órdenes de fabricación que se terminan más tarde que su respectiva fecha de entrega, como ocurre por ejemplo con la orden diez o con la orden siete. La fecha de finalización de todos los trabajos en este caso es de 231 minutos.

Por otro lado, en la Figura 43 se muestra el diagrama de Gantt resultante de aplicar la regla EDD a la secuenciación. Al igual que con la regla SOT, este programa respeta los tiempos de proceso y los tiempos de disponibilidad, pero como ocurría también antes, hay algunas órdenes que no llegan a fabricarse a tiempo para su entrega pactada como por ejemplo la orden de fabricación siete. La fecha de finalización de todos los trabajos en este caso es de 235 minutos.

Para poder seleccionar un programa, es necesario probar con diferentes reglas y seleccionar aquel resultado que disminuya los retrasos o que finalice antes todos los trabajos. En el caso planteado en este ejemplo, la fecha de finalización de los trabajos ha resultado inferior aplicando la regla SOT que aplicando la regla EDD.

## 4. Conclusiones

Una vez desarrollada y comprobado el funcionamiento de la herramienta de programación de la producción, se concluye que la herramienta cumple con las expectativas iniciales. El sistema permite a la empresa tener la capacidad de hacer un programa de producción para cada jornada de trabajo de una manera rápida y sencilla. Así mismo, si la empresa añade nuevas secciones o cambia el número de puestos de trabajo en cada sección, es posible aportar dicha información al sistema para que se tenga en cuenta.

## CAPÍTULO 9. CONCLUSIONES DEL TRABAJO

### 1. Introducción

En este Trabajo Fin de Máster se ha planteado un sistema de planificación de la producción en el cual se han incluido varias herramientas de planificación. En primer lugar, se ha desarrollado la herramienta de planificación agregada en la que es posible decidir respecto a la producción y a la capacidad productiva de la empresa. En segundo lugar, se ha realizado la herramienta de planificación maestra donde se determinan las recepciones planificadas de los productos con demanda independiente. En tercer lugar, se ha planteado la herramienta de planificación de necesidades de materiales donde se determinan las recepciones y lanzamientos planificados de todos los componentes que forman los productos finales. Por último, se ha desarrollado la herramienta de programación de producción, la cual presenta dos aspectos claramente diferenciados: la hoja de cálculo y el algoritmo de resolución. Con esta última herramienta, se obtiene el programa de producción con la secuenciación de las distintos órdenes de fabricación en los puestos de trabajo de los centros o secciones que conforman el sistema de producción.

### 2. Conclusiones

Tras la realización del trabajo, se puede concluir que se han cumplido los objetivos iniciales ya que se ha logrado finalizar el sistema de planificación de la producción y se ha demostrado su correcto funcionamiento mediante una prueba piloto. Así mismo, se ha comprobado que es un sistema fácil y cómodo de usar ya que se identifica a simple vista cuáles son los datos por introducir y se ha explicado claramente cuál es el procedimiento para la resolución de los planes. Además, la adición de nuevos componentes o productos finales es muy sencilla e inmediata. Por último, cabe mencionar que el mantenimiento del sistema es muy económico, ya que *Microsoft Excel* no exige una renovación de licencia periódica y el algoritmo de resolución del programa de producción se puede ejecutar en *Octave*, un software libre.

El sistema de planificación de la producción planteado mejorará el funcionamiento de la empresa. Primero, los costes relativos a la producción disminuirán puesto que se han optimizado los recursos necesarios. En segundo lugar, la reducción de tiempos no productivos aumentará la productividad de la empresa, por lo que tendrá mayor capacidad de competir en el mercado. Así mismo, en tercer lugar, la dirección de la empresa tendrá la capacidad de gestionar mejor los riesgos y de innovar sobre el sistema productivo, debido al control y conocimiento que se tiene de este.

## CAPÍTULO 10. OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE

En septiembre de 2015, la Asamblea General de las Naciones Unidas aprobó la Agenda 2030 por un desarrollo sostenible del planeta. En ella, existen diecisiete objetivos de desarrollo sostenible, algunos de los cuales guardan relación directa o indirecta con el presente trabajo.

Uno de los objetivos a los que este trabajo apunta es el Objetivo 8: Trabajo decente y crecimiento económico. La Planificación de la Producción permite aumentar la eficiencia de las empresas, lo cual desemboca en un crecimiento económico gracias a la reducción de los costes.

Otro de los objetivos es el Objetivo 9: Industria, innovación e infraestructura. Este trabajo participa en el camino hacia la consecución de dicho objetivo ya que es aplicable a las empresas industriales y a sus infraestructuras. Así mismo, la planificación permite llegar a un conocimiento profundo de los sistemas que ofrece la posibilidad de innovar.

Además, este trabajo contribuye a la persecución del Objetivo 11: Ciudades y comunidades sostenibles, ya que la planificación de la producción aumenta la sostenibilidad de la cadena de suministro al reducir la energía y recursos necesarios para la evolución y transformación de los productos y servicios.

Por último, este trabajo contribuye en el logro del Objetivo 12: Producción y consumo responsables, ya que planificar la producción reduce las mermas materiales y proporciona un compromiso de eficiencia y respeto respecto a la sociedad y el planeta. Naciones Unidas (2016) [2]

El resumen de la relación de este trabajo con los Objetivos de Desarrollo Sostenible se encuentra en el CAPÍTULO 2. RESUMEN DE INFORMACIÓN DE LOS ODS.



Figura 44. Objetivos de desarrollo sostenible relacionados con el trabajo.

## CAPÍTULO 11. LÍNEAS DE TRABAJO FUTURAS

### 1. Introducción

El trabajo propuesto presenta un sistema muy versátil y sencillo de utilizar, aunque se han detectado diversos aspectos de mejora que pueden conducir a posibles trabajos futuros.

Uno de los aspectos que pueden mejorarse sustancialmente es el hecho de que no es posible emplear métodos heurísticos para la resolución de algunos planes como el plan maestro o el plan de requerimientos de materiales. Esto daría gran versatilidad y diversidad de opciones de resolución en algunos casos en los que sería más factible el empleo de métodos heurísticos.

Otro de los aspectos mejorables respecto al trabajo planteado es el hecho de que el sistema necesita dos softwares distintos, ya que aparte de las hojas de cálculo se emplea un software de programación.

A su vez, el sistema presenta una débil interconexión entre las distintas herramientas que lo conforman, lo cual es un aspecto para mejorar y facilitar su manejo.

### 2. Propuesta de acciones futuras

Para mejorar el sistema se van a proponer una serie de acciones o trabajos futuros. Primero, se propone la introducción de métodos heurísticos tales como el método de *Silver-Meal*, el método de menor coste unitario o el método de balance parcial de periodos para la resolución del plan maestro o del plan de requerimientos de materiales. Tras esta introducción, el sistema debería de dar la opción al usuario de elegir un método entre los heurísticos ofrecidos o el método de programación lineal ya presente en este trabajo.

Por otro lado, para solucionar el inconveniente que existe al tener que emplear dos softwares para el uso del sistema, se propone integrar el algoritmo usado para realizar los programas de producción en *Microsoft Excel* mediante el uso del lenguaje de programación VBA, de forma que el conjunto del sistema esté conformado por un único software.

Además, se propone mejorar el sistema de información e interconexión entre las herramientas para mejorar el trasvase de información entre las distintas bases de datos y planes.

### 3. Conclusiones

En conclusión, el sistema propuesto es capaz de llevar una planificación de la producción de la empresa de una manera cómoda y sencilla, con capacidad para aumentar el tamaño de los problemas y de los planes sin restricción alguna y con accesibilidad fácil y económica, gracias al software elegido para su desarrollo, aunque se han detectado aspectos de mejora que darían al sistema mejores características que las que tiene actualmente.

## CAPÍTULO 12. BIBLIOGRAFÍA

- [1]: Hillier, F. S., & Lieberman, G. J. (2015). *Introducción a la investigación de operaciones*.
- [2]: De las Naciones Unidas, O. (2016). *Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)*. *Revista Universidad de la Salle*, 2016(70), 141-172.
- [3]: Stephen N. Chapman, Primera Edición (2006). *Planificación y Control de la Producción*.
- [4]: Joan Triadó Aymerich, UOC (2018). *Planificación de la Producción y Plan Maestro de Producción*.
- [5]: Alberto Medina León, Dianelys Nogueira Rivera, Marcos Oviedo Rodríguez, Arialys Hernández Nariño (2014). *Programación de la Producción*.
- [6]: Jay Heizer, Barry Render, Prentice Hall, Octava Edición (2007). *Dirección de la producción y de operaciones. Decisiones estratégicas*.
- [7]: Domínguez Machuca, José Antonio (2003). *Dirección de operaciones: aspectos tácticos y operativos en la producción y los servicios*.
- [8]: Heizer J., Render B (2007). *Dirección de la producción y de operaciones: decisiones tácticas*.

## **II. PRESUPUESTO**

## CAPÍTULO 1. OBJETO

El objeto del presente documento es valorar el servicio de ingeniería llevado a cabo en la redacción y desarrollo de este proyecto, teniendo en cuenta el coste del trabajo personal, los costes relativos a la utilización de equipos informáticos y los costes en relación con las licencias de software necesarias para la realización del proyecto. El presupuesto tiene como finalidad dar una idea lo más aproximada posible del importe total del servicio de ingeniería.

## CAPÍTULO 2. COSTES

### 1. Costes del trabajo personal

Dentro de los costes de personal se incluyen los honorarios de todas las personas involucradas en el desarrollo del proyecto, entre las cuales destaca el profesional de ingeniería que desarrolla el sistema. Las tareas que realiza el ingeniero son las siguientes:

1. Búsqueda de información en la bibliografía respecto a la modelización.
2. Desarrollo del sistema de planificación de la producción.
3. Desarrollo del algoritmo de programación de la producción.
4. Realización de estudio para diferentes casos y validación del sistema a partir del análisis de resultados.
5. Redacción del proyecto.

Como precio horario por los servicios, se va a tomar un precio de 25 €/h. También se le ha asignado un porcentaje de tiempo dedicado a cada tarea, con lo cual, los costes relacionados son los siguientes:

Tarea	Tiempo dedicado (h)	Coste (€)
Búsqueda de información en la bibliografía (10 %)	35	875
Desarrollo del sistema de planificación de la producción (50 %)	175	4.375
Desarrollo del algoritmo de programación de la producción (20 %)	70	1.750
Realización de estudio y validación del sistema (10 %)	35	875
Redacción del proyecto (10 %)	35	875
<b>TOTAL</b>	<b>350</b>	<b>8.750</b>

Tabla 56. Costes del trabajo personal.

### 2. Costes por utilización de equipos informáticos

En este apartado se van a desarrollar los costes relacionados con el uso de equipos informáticos. Estos costes van a provenir de los gastos de amortización del material, del mantenimiento de este y de los consumos de energía relacionados con su uso. Los gastos de amortización se van a calcular en base a una amortización constante, considerando un gasto mensual.

$$\text{Amortización mensual} = \frac{\text{Valor de adquisición} - \text{Valor residual}}{\text{Vida útil en meses}}$$

A continuación, se desarrolla el gasto mensual de cada uno de los dispositivos utilizados, considerando un valor residual nulo para todos ellos:

Dispositivo	Coste de adquisición (€)	Vida útil (años)	Gasto mensual (€)
Portátil ASUS	1.300	10	10,83
Teclado	40	6	0,55
Ratón	25	4	0,52
Monitor LG	150	8	1,56
<b>TOTAL</b>			<b>13,46</b>

Tabla 57. Costes de amortización mensual de equipos informáticos.

Como el proyecto ha tenido una duración de seis meses, el gasto de amortización total es el siguiente:

Gasto mensual (€)	Duración proyecto (meses)	Gasto total (€)
13,46	6	80,76

Tabla 58. Costes de amortización totales.

En cuanto a los costes de consumo energético se tiene lo siguiente:

Factura mensual (€)	Duración proyecto (meses)	Gasto total (€)
35	6	210

Tabla 59. Costes de consumo energético totales.

Los costes totales de utilización de equipos informáticos teniendo en cuenta todos los términos se muestran a continuación.

Término	Coste (€)
Coste por amortización de equipos	80,76
Coste por consumo energético	210
<b>TOTAL</b>	<b>290,76</b>

Tabla 60. Costes totales por utilización de equipos informáticos.

### 3. Costes por licencias de software

En este apartado se van a mostrar los gastos de licencias que se han tenido durante la realización del trabajo. Se considera que la licencia de *Matlab* es versión estándar y que la licencia de *Microsoft Office* es la versión personal. A continuación, se muestran los gastos de software.

Software	Coste licencia anual (€)	Tiempo de uso (meses)	Coste final (€)
Matlab	900	6	450
Microsoft Office	69	6	34,5
<b>TOTAL</b>			<b>484,5</b>

Tabla 61. Costes totales por licencias de software.

#### 4. Importe total

En este apartado, se incluye una tabla con el resumen del presupuesto y el importe total a pagar por el cliente.

<b>Término</b>	<b>Coste (€)</b>
Costes del trabajo personal	8.750
Costes de utilización de equipos informáticos	290,76
Costes por licencias de software	484,5
Base imponible	9.525,2
IVA (21%)	2.000,31
<b>TOTAL</b>	<b>11.525,57</b>

*Tabla 62. Importe total.*

### **III. ANEJOS**

## CAPÍTULO 1. CASOS DE APLICACIÓN DEL SISTEMA Y ALGORITMOS

En este capítulo se adjuntan los casos resueltos en las hojas de cálculo del libro de Excel que compone el sistema propuesto, incluyendo datos introducidos, variables de decisión, variables auxiliares, restricciones y función objetivo.

### 1. Caso de información de pedidos

ID Pedido	Cliente	e-mail	Teléfono	Producto	ID Producto	Cantidad	Fecha entrega	Cobrado
1	MediCore Labs	MediCoreLabs@gmail.com	687345612	Almacén de muestras	F2	1	29/01/2025	SI
2	PharmaTech Solutions	PharmaTechSolutions@gmail.com	654876123	Depósito agua purificada	F1	1	14/04/2025	SI
3	CureWave Innovations	CureWaveInnovations@gmail.com	678345243	Mezclador de cremas	C1	1	02/02/2025	NO
4	BioHealth Ventures	BioHealthVentures@gmail.com	698254612	Pasteurizador	A1	2	16/01/2025	SI
5	TheraGen Systems	TheraGenSystems@gmail.com	693765243	Pasteurizador	A1	2	23/01/2025	NO
6	NutriFresh Foods	NutriFreshFoods@gmail.com	687234654	Fermentador de vino	A2	3	06/03/2025	NO
7	EcoHarvest Produce	EcoHarvestProduce@gmail.com	612634563	Fermentador de vino	A2	2	05/03/2025	SI
8	TasteFusion Brands	TasteFusionBrands@gmail.com	673546777	Dosificadora	C2	3	25/02/2025	NO
9	PureGrain Goods	PureGrainGoods@gmail.com	689785612	Pasteurizador	A1	1	16/02/2025	SI
10	GreenVale Organics	GreenValeOrganics@gmail.com	675234765	Almacén de muestras	F2	1	01/03/2025	SI
11	GlamEssence Beauty	GlamEssenceBeauty@gmail.com	684987234	Dosificadora	C2	1	30/04/2025	NO
12	RadiantGlow Cosmetics	RadiantGlowCosmetics@gmail.com	698712343	Mezclador de cremas	C1	1	22/03/2025	SI
13	EleganceTouch	EleganceTouch@gmail.com	689123123	Dosificadora	C2	1	25/02/2025	NO
14	LuxeBlend Skincare	LuxeBlendSkincare@gmail.com	674263543	Mezclador de cremas	C1	2	23/02/2025	SI
15	PureCharm Naturals	PureCharmNaturals@gmail.com	645876243	Almacén de muestras	F2	2	18/03/2025	SI
16	HealthGuard Biotech	HealthGuardBiotech@gmail.com	674982345	Pasteurizador	A1	1	02/04/2025	NO
17	NovaPharm Solutions	NovaPharmSolutions@gmail.com	678345645	Almacén de muestras	F2	2	04/02/2025	SI
18	BioMedi Ventures	BioMediVentures@gmail.com	634127888	Dosificadora	C2	3	19/02/2025	SI
19	PharmaSphere Innovations	PharmaSphereInnovations@gmail.com	673456111	Almacén de muestras	F2	2	19/04/2025	NO
20	VitalCure Labs	VitalCureLabs@gmail.com	645783222	Depósito agua purificada	F1	1	12/03/2025	NO
21	FreshHarvest Goods	FreshHarvestGoods@gmail.com	674587123	Pasteurizador	A1	3	28/02/2025	SI
22	NutriVale Foods	NutriValeFoods@gmail.com	689994588	Fermentador de vino	A2	2	04/03/2025	SI
23	PureBite Organics	PureBiteOrganics@gmail.com	678345213	Fermentador de vino	A2	3	03/04/2025	SI
24	GreenLeaf Produce	GreenLeafProduce@gmail.com	645432786	Fermentador de vino	A2	2	24/03/2025	SI
25	FlavorFusion Brands	FlavorFusionBrands@gmail.com	632124675	Almacén de muestras	F2	3	02/03/2025	NO
26	BeautyBliss Naturals	BeautyBlissNaturals@gmail.com	687987909	Mezclador de cremas	C1	1	01/03/2025	NO
27	RadiantEssence	RadiantEssence@gmail.com	689040320	Depósito agua purificada	F1	2	26/01/2025	SI
28	LuxeCharm Cosmetics	LuxeCharmCosmetics@gmail.com	634213554	Mezclador de cremas	C1	1	12/04/2025	NO
29	PureGlam Skincare	PureGlamSkincare@gmail.com	657876989	Dosificadora	C2	3	03/04/2025	NO
30	EleganceGlow	EleganceGlow@gmail.com	645321214	Dosificadora	C2	2	26/04/2025	NO
31								
32								
33								
34								
35								

### 2. Caso de resumen de pedidos e histórico

ID Producto	F1
Descripción producto	Depósito agua purificada
Familia	Farmacéutico

Día	01/01/2025	02/01/2025	03/01/2025	06/01/2025	07/01/2025	08/01/2025	09/01/2025	10/01/2025	13/01/2025	14/01/2025	15/01/2025	16/01/2025	17/01/2025	20/01/2025	21/01/2025	22/01/2025	23/01/2025
	miércoles	jueves	viernes	lunes	martes	miércoles	jueves	viernes	lunes	martes	miércoles	jueves	viernes	lunes	martes	miércoles	jueves
Mes	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Semana	1	1	1	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	4	4	4	4
Previsión	0	0	3	0	1	3	0	3	1	0	2	5	2	3	5	0	2
Pedidos comprometidos	1	1	2	0	0	1	1	0	1	5	2	1	1	0	5	0	2
Pedidos extraordinarios	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	0	1

ID Producto	F2
Descripción producto	Almacén de muestras
Familia	Farmacéutico

Día	01/01/2025	02/01/2025	03/01/2025	06/01/2025	07/01/2025	08/01/2025	09/01/2025	10/01/2025	13/01/2025	14/01/2025	15/01/2025	16/01/2025	17/01/2025	20/01/2025	21/01/2025	22/01/2025	23/01/2025
	miércoles	jueves	viernes	lunes	martes	miércoles	jueves	viernes	lunes	martes	miércoles	jueves	viernes	lunes	martes	miércoles	jueves
Mes	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Semana	1	1	1	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	4	4	4	4
Previsión	2	5	2	5	5	5	2	5	0	2	5	2	0	5	2	5	5
Pedidos comprometidos	1	0	2	2	2	0	1	0	1	1	1	0	2	1	0	2	0
Pedidos extraordinarios	0	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	0

ID Producto	A1
Descripción producto	Pasteurizador
Familia	Alimentario

Día	01/01/2025	02/01/2025	03/01/2025	06/01/2025	07/01/2025	08/01/2025	09/01/2025	10/01/2025	13/01/2025	14/01/2025	15/01/2025	16/01/2025	17/01/2025	20/01/2025	21/01/2025	22/01/2025	23/01/2025
	miércoles	jueves	viernes	lunes	martes	miércoles	jueves	viernes	lunes	martes	miércoles	jueves	viernes	lunes	martes	miércoles	jueves
Mes	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Semana	1	1	1	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	4	4	4	4
Previsión	2	2	0	2	1	1	0	0	0	2	2	1	0	0	0	2	2
Pedidos comprometidos	0	0	2	1	1	1	0	1	2	0	2	2	2	0	0	0	1
Pedidos extraordinarios	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	1	0



## 4. Caso de hojas de ruta

ID Producto	Producto	1ª Operación		2ª Operación		3ª Operación		4ª Operación		5ª Operación		6ª Operación	
		Proceso	Tiempo (min)	Proceso	Tiempo (min)	Proceso	Tiempo (min)	Proceso	Tiempo (min)	Proceso	Tiempo (min)	Proceso	Tiempo (min)
F1	Depósito agua purificada	Recogida componentes	10	Torneado	15	Fresado	25	Cilindrado	20	Montaje	60	Soldadura	35
F2	Almacén de muestras	Recogida componentes	10	Fresado	15	Plegado	20	Montaje	60	Soldadura	25	Pulido y Limpieza	20
A1	Pasteurizador	Recogida componentes	10	Plegado	12	Cilindrado	20	Montaje	50	Soldadura	15	Pulido y Limpieza	25
A2	Fermentador de vino	Recogida componentes	15	Fresado	20	Plegado	15	Cilindrado	18	Montaje	90	Soldadura	20
C1	Mezclador de cremas	Recogida componentes	8	Torneado	15	Cilindrado	20	Montaje	55	Soldadura	30	Pulido y Limpieza	35
C2	Dosificadora	Recogida componentes	8	Fresado	20	Plegado	15	Montaje	50	Etiquetado y embalaje	12		

## 5. Caso de Plan Agregado de la Producción

### DATOS DE ENTRADA

Periodo	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Necesidades de producción productos sector farmacéutico (uds)	150	100	90	92	95	58	50	68	85	89	94	108
Necesidades de producción productos sector alimentario (uds)	76	85	97	108	160	175	170	150	100	91	85	
Necesidades de producción productos sector cosmético (uds)	66	68	74	85	90	92	90	70	130	120	110	90
Días productivos	21	20	21	19	22	22	23	22	21	22	21	21
Horas contratadas por trabajador y día a jornada completa (h)	8											
Horas productivas por trabajador y día a jornada completa (h)	7											
Horas contratadas por trabajador y día a media jornada (h)	4											
Horas productivas por trabajador y día a media jornada (h)	3,5											
Horas necesarias Sección Almacén Materias primas sector farmacéutico (h/ud)	0,500											
Horas necesarias Sección Almacén Materias primas sector alimentario (h/ud)	0,400											
Horas necesarias Sección Almacén Materias primas sector cosmético (h/ud)	0,400											
Horas necesarias Sección Torneado sector farmacéutico (h/ud)	0,500											
Horas necesarias Sección Torneado sector alimentario (h/ud)	0,700											
Horas necesarias Sección Torneado sector cosmético (h/ud)	0,650											
Horas necesarias Sección Fresado sector farmacéutico (h/ud)	0,600											
Horas necesarias Sección Fresado sector alimentario (h/ud)	0,300											
Horas necesarias Sección Fresado sector cosmético (h/ud)	0,800											
Horas necesarias Sección Plegado sector farmacéutico (h/ud)	0,700											
Horas necesarias Sección Plegado sector alimentario (h/ud)	0,700											
Horas necesarias Sección Plegado sector cosmético (h/ud)	0,500											
Horas necesarias Sección Cilindrado sector farmacéutico (h/ud)	0,800											
Horas necesarias Sección Cilindrado sector alimentario (h/ud)	0,700											
Horas necesarias Sección Cilindrado sector cosmético (h/ud)	0,500											
Horas necesarias Sección Montaje sector farmacéutico (h/ud)	1,000											
Horas necesarias Sección Montaje sector alimentario (h/ud)	1,500											
Horas necesarias Sección Montaje sector cosmético (h/ud)	1,400											
Horas necesarias Sección Soldadura sector farmacéutico (h/ud)	0,900											
Horas necesarias Sección Soldadura sector alimentario (h/ud)	0,600											
Horas necesarias Sección Soldadura sector cosmético (h/ud)	0,700											
Horas necesarias Sección Pulido y Limpieza sector farmacéutico (h/ud)	0,300											
Horas necesarias Sección Pulido y Limpieza sector alimentario (h/ud)	0,200											
Horas necesarias Sección Pulido y Limpieza sector cosmético (h/ud)	0,250											
Horas necesarias Sección Almacén Productos terminados farmacéutico (h/ud)	0,100											
Horas necesarias Sección Almacén Productos terminados sector alimentario (h/ud)	0,150											
Horas necesarias Sección Almacén Productos terminados sector cosmético (h/ud)	0,080											
Coste de mantener en inventario 1 unidad durante un mes	1,0 €											
Coste de contratación de 1 trabajador de oficina	20,0 €											
Coste de contratación de 1 trabajador de producción	30,0 €											
Coste de despido de 1 operario de oficina	100,0 €											
Coste de despido de 1 operario de producción	100,0 €											
Coste fijo por activación de turno en oficina	100,00 €											
Coste fijo por activación de turno en producción	150,00 €											
Coste de adquisición de puesto de Almacén Materias primas	1.200 €											
Coste de adquisición de puesto de Torneado	4.000 €											
Coste de adquisición de puesto de Fresado	7.000 €											
Coste de adquisición de puesto de Plegado	2.500 €											
Coste de adquisición de puesto de Cilindrado	5.000 €											
Coste de adquisición de puesto de Montaje	20 €											
Coste de adquisición de puesto de Soldadura	800 €											
Coste de adquisición de puesto de Pulido y Limpieza	500 €											
Coste de adquisición de puesto de Almacén de Productos terminados	1.200 €											
Precio de venta de puesto de Almacén Materias primas	300 €											
Precio de venta de puesto de Torneado	500 €											
Precio de venta de puesto de Fresado	600 €											
Precio de venta de puesto de Plegado	400 €											
Precio de venta de puesto de Cilindrado	1.000 €											
Precio de venta de puesto de Montaje	- €											
Precio de venta de puesto de Soldadura	50 €											
Precio de venta de puesto de Pulido y Limpieza	60 €											
Precio de venta de puesto de Almacén de Productos terminados	300 €											
Horas necesarias de mano de obra en oficina para productos de sector farmacéutico (h)	3											
Horas necesarias de mano de obra en producción para productos de sector farmacéutico (h)	5,400											
Horas necesarias de mano de obra en oficina para productos de sector alimentario (h)	4											
Horas necesarias de mano de obra en producción para productos de sector alimentario (h)	5,250											
Horas necesarias de mano de obra en oficina para productos de sector cosmético (h)	5											
Horas necesarias de mano de obra en producción para productos de sector cosmético (h)	5,280											
Nº de trabajadores fijos de oficina a jornada completa	2											
Nº de trabajadores fijos de oficina a media jornada	0											
Nº de trabajadores fijos de producción a jornada completa	2											
Nº de trabajadores fijos de producción a media jornada	6											
Nº máximo de trabajadores de oficina a jornada completa por periodo	20											
Nº máximo de trabajadores de oficina a media jornada por periodo	5											
Nº máximo de trabajadores de producción a jornada completa por periodo	40											
Nº máximo de trabajadores de producción a media jornada por periodo	5											
Nº máximo de trabajadores de oficina por turno	15											
Nº máximo de trabajadores de producción por turno	25											
Porcentaje máximo de producción en horas extra sobre producción regular	35%											
Porcentaje máximo de producción subcontratada sobre producción regular	20%											
Máximo de horas ociosas de oficina por periodo	30											
Máximo de horas ociosas de producción por periodo	30											
Coste de 1 hora regular en oficina	15,0 €											
Coste de 1 hora regular en producción	12,0 €											
Coste de 1 hora extra de oficina	17,5 €											
Coste de 1 hora extra de producción	13,5 €											
Coste extra por 1 hora ociosa de oficina	3,0 €											
Coste extra por 1 hora ociosa de producción	5,0 €											
Coste de diseño y gestión por unidad subcontratada para productos del sector farmacéutico	100,0 €											
Coste de fabricación por unidad subcontratada para productos del sector farmacéutico	150,0 €											
Coste de diseño y gestión por unidad subcontratada para productos del sector alimentario	80,0 €											
Coste de fabricación por unidad subcontratada para productos del sector alimentario	110,0 €											
Coste de diseño y gestión por unidad subcontratada para productos del sector cosmético	70,0 €											
Coste de fabricación por unidad subcontratada para productos del sector cosmético	100,0 €											
Plantilla inicial de oficina a jornada completa	6											
Plantilla inicial de oficina a media jornada	0											
Plantilla inicial de producción a jornada completa	10											
Plantilla inicial de producción a media jornada	6											
Inventario inicial de productos del sector farmacéutico	5											
Inventario inicial de productos del sector alimentario	10											
Inventario inicial de productos del sector cosmético	8											
Inventario máximo total al final del periodo	120											
Nº puestos de trabajo máximo Sección Almacén Materias primas	5											
Nº puestos de trabajo máximo Sección Torneado	6											
Nº puestos de trabajo máximo Sección Fresado	6											
Nº puestos de trabajo máximo Sección Plegado	6											
Nº puestos de trabajo máximo Sección Cilindrado	2											
Nº puestos de trabajo máximo Sección Montaje	8											
Nº puestos de trabajo máximo Sección Soldadura	8											
Nº puestos de trabajo máximo Sección Pulido y Limpieza	6											
Nº puestos de trabajo máximo Sección Almacén Productos terminados	5											
Nº actual de puestos de trabajo Sección Almacén Materias primas	2											
Nº actual de puestos de trabajo Sección Torneado	2											
Nº actual de puestos de trabajo Sección Fresado	2											
Nº actual de puestos de trabajo Sección Plegado	3											
Nº actual de puestos de trabajo Sección Cilindrado	1											
Nº actual de puestos de trabajo Sección Montaje	6											
Nº actual de puestos de trabajo Sección Soldadura	5											
Nº actual de puestos de trabajo Sección Pulido y Limpieza	4											
Nº actual de puestos de trabajo Sección Almacén Productos terminados	3											

Diseño e implantación de un sistema de Planificación de la Producción de una empresa fabricante de equipos para el sector farmacéutico, alimentario y cosmético

**VARIABLES DE DECISIÓN**

Periodo	Inicial	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Número de trabajadores de oficina a jornada completa durante el periodo	6	6	6	7	8	7	8	8	8	8	8	8	7
Número de trabajadores de oficina a media jornada durante el periodo	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
Número de trabajadores de producción a jornada completa durante el periodo	10	7	7	7	7	8	8	8	8	8	8	8	7
Número de trabajadores de producción a media jornada durante el periodo	0	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	4
Activación del primer turno de oficina		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Activación del segundo turno de oficina		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Activación del tercer turno de oficina		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Activación del primer turno de producción		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Activación del segundo turno de producción		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Activación del tercer turno de producción		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Número de contrataciones de oficina a jornada completa al comienzo del periodo		0	0	1	1	0	2	0	0	0	0	0	0
Número de contrataciones de oficina a media jornada al comienzo del periodo		1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
Número de contrataciones de producción a jornada completa al comienzo del periodo		0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
Número de contrataciones de producción a media jornada al comienzo del periodo		5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Número de despidos de oficina a jornada completa al comienzo del periodo		0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1
Número de despidos de oficina a media jornada al comienzo del periodo		0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0
Número de despidos de producción a jornada completa al comienzo del periodo		3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Número de despidos de producción a media jornada al comienzo del periodo		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Producción en horas regulares de productos del sector farmacéutico en el periodo		142	129	97	9	115	50	59	65	67	95	94	74
Producción en horas regulares de productos del sector alimentario en el periodo		66	87	94	109	111	175	174	166	149	100	90	85
Producción en horas regulares de productos del sector cosmético en el periodo		53	33	71	120	73	76	83	74	75	109	106	90
Producción en horas extra de productos del sector farmacéutico en el periodo		4	0	0	46	0	0	0	0	0	0	28	0
Producción en horas extra de productos del sector alimentario en el periodo		0	1	0	0	48	0	0	0	1	0	1	0
Producción en horas extra de productos del sector cosmético en el periodo		5	35	3	6	0	0	0	0	50	15	0	0
Producción subcontratada de productos del sector farmacéutico en el periodo		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Producción subcontratada de productos del sector alimentario en el periodo		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Producción subcontratada de productos del sector cosmético en el periodo		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Inventario de productos de sector farmacéutico al final del periodo		5	1	30	37	0	20	12	21	18	0	6	34
Inventario de productos de sector alimentario al final del periodo		10	0	3	0	1	0	0	4	0	0	0	0
Inventario de productos de sector cosmético al final del periodo		8	0	0	0	41	24	8	1	5	0	4	0
Número de puestos de trabajo de Almacén Materias primas		2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Número de puestos de trabajo de Torneado		2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1
Número de puestos de trabajo de Fresado		2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1
Número de puestos de trabajo de Plegado		3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1
Número de puestos de trabajo de Cilindrado		1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1
Número de puestos de trabajo de Montaje		6	4	4	3	3	3	3	3	3	3	3	2
Número de puestos de trabajo de Soldadura		5	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Número de puestos de trabajo de Pulido y Limpieza		4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Número de puestos de trabajo de Almacén Productos acabados		3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Número de adquisiciones de puestos de trabajo de Almacén Materias primas		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Número de adquisiciones de puestos de trabajo de Torneado		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Número de adquisiciones de puestos de trabajo de Fresado		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Número de adquisiciones de puestos de trabajo de Plegado		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Número de adquisiciones de puestos de trabajo de Cilindrado		1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Número de adquisiciones de puestos de trabajo de Montaje		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Número de adquisiciones de puestos de trabajo de Soldadura		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Número de adquisiciones de puestos de trabajo de Pulido y Limpieza		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Número de adquisiciones de puestos de trabajo de Almacén Productos acabados		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Número de ventas de puestos de Almacén Materias primas		1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Número de ventas de puestos de Torneado		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Número de ventas de puestos de Fresado		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Número de ventas de puestos de Plegado		1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Número de ventas de puestos de Cilindrado		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Número de ventas de puestos de Montaje		2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Número de ventas de puestos de Soldadura		3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Número de ventas de puestos de Pulido y Limpieza		3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Número de ventas de puestos de Almacén Productos acabados		2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>RESTRICCIONES</b>													
Balance trabajadores de oficina a jornada completa		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Numero mínimo de trabajadores de oficina a jornada completa		6	6	7	8	7	8	8	8	8	8	8	7
		2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Numero máximo de trabajadores de oficina a jornada completa		6	6	7	8	7	8	8	8	8	8	8	7
		20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
Balance trabajadores de oficina a media jornada		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Numero mínimo de trabajadores de oficina a media jornada		1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Numero máximo de trabajadores de oficina a media jornada		1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
		5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Balance trabajadores de producción a jornada completa		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Numero mínimo de trabajadores de producción a jornada completa		7	7	7	7	8	8	8	8	8	8	8	7
		2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Numero máximo de trabajadores de producción a jornada completa		7	7	7	7	8	8	8	8	8	8	8	7
		40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
Balance trabajadores de producción a media jornada		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Numero mínimo de trabajadores de producción a media jornada		5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	4
		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Numero máximo de trabajadores de producción a media jornada		5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	4
		5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5

Diseño e implantación de un sistema de Planificación de la Producción de una empresa fabricante de equipos para el sector farmacéutico, alimentario y cosmético

Restricción derecha activación turno 1 oficina	-9993	-9993	-9993	-9992	-9992	-9992	-9992	-9992	-9992	-9992	-9992	-9993
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Restricción izquierda activación turno 1 oficina	6,99	6,99	6,99	7,99	7,99	7,99	7,99	7,99	7,99	7,99	7,99	6,99
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Restricción derecha activación turno 2 oficina	-8	-8	-8	-7	-7	-7	-7	-7	-7	-7	-7	-8
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Restricción izquierda activación turno 2 oficina	7	7	7	8	8	8	8	8	8	8	8	7
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Restricción derecha activación turno 3 oficina	-23	-23	-23	-22	-22	-22	-22	-22	-22	-22	-22	-23
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Restricción izquierda activación turno 3 oficina	7	7	7	8	8	8	8	8	8	8	8	7
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Restricción derecha activación turno 1 producción	-9988	-9988	-9988	-9988	-9987	-9987	-9987	-9987	-9987	-9987	-9987	-9989
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Restricción izquierda activación turno 1 producción	11,99	11,99	11,99	11,99	12,99	12,99	12,99	12,99	12,99	12,99	12,99	10,99
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Restricción derecha activación turno 2 producción	-13	-13	-13	-13	-12	-12	-12	-12	-12	-12	-12	-14
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Restricción izquierda activación turno 2 producción	12	12	12	12	13	13	13	13	13	13	13	11
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Restricción derecha activación turno 3 producción	-38	-38	-38	-38	-37	-37	-37	-37	-37	-37	-37	-39
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Restricción izquierda activación turno 3 producción	12	12	12	12	13	13	13	13	13	13	13	11
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Horas en oficina regulares máximas	955	900	1022	1063	1154	1230	1288	1229	1172	1230	1172	1012
	955,5	910	1029	1064	1155	1232	1288	1232	1176	1232	1176	1029
Horas en producción regulares máximas	1393,14	1327,59	1392,18	1254,45	1589,19	1590,03	1670,34	1613,22	1540,05	1613,52	1539,78	1321,05
	1396,5	1330	1396,5	1263,5	1617	1617	1690,5	1617	1543,5	1617	1543,5	1323
Producción máxima en horas extra	9	36	3	52	48	0	0	0	51	15	29	0
	91,35	87,15	91,7	83,3	104,65	105,35	110,6	106,75	101,85	106,4	101,5	87,15
Producción máxima subcontratada	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Horas ociosas máximas de oficina	0,5	10	7	1	1	2	0	3	4	2	4	17
	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
Horas ociosas máximas de producción	3,36	2,41	4,32	9,05	27,81	26,97	20,16	3,78	3,45	3,48	3,72	1,95
	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
Inventario total máximo al final del periodo	1	33	37	42	44	20	26	23	0	10	34	0
	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120
Inventario total al final de año												0
												0
Balance de inventario para productos del sector farmacéutico	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Balance de inventario para productos del sector alimentario	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Balance de inventario para productos del sector cosmético	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

## Diseño e implantación de un sistema de Planificación de la Producción de una empresa fabricante de equipos para el sector farmacéutico, alimentario y cosmético

Balance puestos de Almacén de Materias primas	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	=
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Capacidad mínima en medios técnicos en Almacén de Materias primas	168	160	168	152	176	176	184	176	168	176	168	168	2
	122,6	126,9	115,7	121,5	150,3	125,4	132,3	128,5	143,5	137,1	139,8	107	
Máximo número puestos de trabajo Almacén de Materias primas	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	5
	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	
Balance puestos de Torneado	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	=
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Capacidad mínima en medios técnicos en Torneado	336	320	336	304	352	352	368	352	336	352	336	168	2
	156,9	170,3	162,4	185,7	216,25	196,9	205,25	196,8	219,75	198,1	193,6	155	
Máximo número puestos de trabajo Torneado	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	5
	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	
Balance puestos de Fresado	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	=
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Capacidad mínima en medios técnicos en Fresado	336	320	336	304	352	352	368	352	336	352	336	168	2
	153,8	158,2	145,6	166,5	175,1	143,3	154	148	185,2	186,2	185,3	141,9	
Máximo número puestos de trabajo Fresado	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	5
	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	
Balance puestos de Plegado	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	=
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Capacidad mínima en medios técnicos en Plegado	336	320	336	304	352	352	368	352	336	352	336	168	2
	177,4	185,9	170,7	177,8	228,3	195,5	204,6	198,7	214,4	198,5	202,1	156,3	
Máximo número puestos de trabajo Plegado	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	5
	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	
Balance puestos de Cilindrado	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	=
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Capacidad mínima en medios técnicos en Cilindrado	336	320	336	304	352	352	368	352	336	352	336	168	2
	192	198,8	180,4	183,3	239,8	200,5	210,5	205,2	221,1	208	214,3	163,7	
Máximo número puestos de trabajo Cilindrado	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	5
	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	
Balance puestos de Montaje	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	=
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Capacidad mínima en medios técnicos en Montaje	672	640	504	456	528	528	552	528	504	528	504	336	2
	326,2	356,2	341,6	394,9	455,7	418,9	436,2	417,6	467	418,6	406,9	327,5	
Máximo número puestos de trabajo Montaje	4	4	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2	5
	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	
Balance puestos de Soldadura	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	=
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Capacidad mínima en medios técnicos en Soldadura	336	320	336	304	352	352	368	352	336	352	336	336	2
	211,6	216,5	195,5	203,1	250	203,2	215,6	209,9	237,8	232,3	238,6	180,6	
Máximo número puestos de trabajo Soldadura	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	5
	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	
Balance puestos de Pulido y Limpieza	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	=
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Capacidad mínima en medios técnicos en Pulido y Limpieza	168	160	168	152	176	176	184	176	168	176	168	168	2
	71,5	73,3	66,4	69,8	84,55	69	73,25	71,2	81,35	79,5	81,3	61,7	
Máximo número puestos de trabajo Pulido y Limpieza	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	5
	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	
Balance puestos de Almacén de Productos terminados	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	=
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Capacidad mínima en medios técnicos en Almacén de Productos terminados	168	160	168	152	176	176	184	176	168	176	168	168	2
	29,14	31,54	29,72	31,93	41,19	37,33	38,64	37,32	39,2	34,42	34,33	27,35	
Máximo número puestos de trabajo Almacén de Productos terminados	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	5
	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	
Relación entre trabajadores y puestos de trabajo de producción	17	17	17	17	18	18	18	18	18	18	18	15	2
	17	17	16	16	16	16	16	16	16	16	16	11	

### FUNCIÓN OBJETIVO

Coste de horas regulares	35.532 €	33.840 €	36.792 €	35.568 €	41.976 €	43.296 €	45.264 €	43.296 €	41.328 €	43.296 €	41.328 €	35.784 €
Coste de horas extra	1.296 €	5.698 €	476 €	6.721 €	6.762 €	- €	- €	- €	8.080 €	2.382 €	3.652 €	- €
Coste de subcontratar	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €
Coste de ociosidad	18 €	42 €	43 €	48 €	142 €	141 €	101 €	28 €	29 €	23 €	31 €	61 €
Coste de contrataciones	170 €	- €	20 €	20 €	50 €	40 €	- €	- €	- €	- €	- €	- €
Coste de despidos	300 €	- €	100 €	- €	100 €	200 €	- €	- €	- €	- €	- €	300 €
Coste de inventariar	12 €	17 €	35 €	40 €	43 €	32 €	23 €	25 €	12 €	5 €	22 €	17 €
Costes fijos de turnos activos	250 €	250 €	250 €	250 €	250 €	250 €	250 €	250 €	250 €	250 €	250 €	250 €
Costes por adquisición de puestos de trabajo	5.000 €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €
Costes por venta de puestos de trabajo	- 1.630 €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- 2.500 €
min z =	518.525 €											

## 6. Caso de Planificación Maestra de la Producción

Semana entrante	1
Barrera de demanda (semanas)	1

### PLAN MAESTRO PRODUCTOS

ID Producto	F1												
Descripción producto	Depósito agua purificada												
Stock de seguridad (unidades)	2												
Lote mínimo	1												
Lote múltiplo	5												
Inventario máximo	20												
Coste (€/ud.)	80,00 €												
Coste lanzamiento (€/orden)	200,00 €												
Coste almacenamiento (€/€-semana)	0,50												
Semana		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Previsión		25	28	37	29	28	33	20	25	28	21	29	23
Pedidos comprometidos		33	36	28	21	29	33	31	35	20	24	22	32
Pedidos extraordinarios		0	1	2	0	0	3	1	2	0	0	1	0
Necesidades brutas		33	37	30	29	29	36	32	37	28	24	30	32
Recepciones programadas		4	3	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Recepciones planificadas		15	30	55	15	40	25	30	35	30	25	30	30
Binaria recepción		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Numero entero múltiplo		3	6	11	3	8	5	6	7	6	5	6	6
Inventario proyectado		6	2	20	6	17	6	4	2	4	5	5	3
Inventario real al inicio	20												
Restricción derecha lote mínimo		14	29	54	14	39	24	29	34	29	24	29	29
		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Restricción izquierda lote mínimo		-99985	-99970	-99945	-99985	-99960	-99975	-99970	-99965	-99970	-99975	-99970	-99970
		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Restricción stock de seguridad		6	2	20	6	17	6	4	2	4	5	5	3
		2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Restricción lote múltiplo		15	30	55	15	40	25	30	35	30	25	30	30
		15	30	55	15	40	25	30	35	30	25	30	30
Restricción inventario máximo		6	2	20	6	17	6	4	2	4	5	5	3
		20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20

ID Producto	F2												
Descripción producto	Almacén de muestras												
Stock de seguridad (unidades)	3												
Lote mínimo	1												
Lote múltiplo	2												
Inventario máximo	25												
Coste (€/ud.)	30,00 €												
Coste lanzamiento (€/orden)	60,00 €												
Coste almacenamiento (€/€-semana)	0,50												
Semana		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Previsión		25	27	50	36	40	28	38	46	25	38	48	49
Pedidos comprometidos		34	35	44	36	39	41	32	36	44	36	37	44
Pedidos extraordinarios		0	2	2	1	0	1	1	1	0	1	1	0
Necesidades brutas		34	37	52	37	40	42	39	47	44	39	49	49
Recepciones programadas		5	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Recepciones planificadas		2	36	50	38	40	42	38	48	44	38	50	48
Binaria recepción		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Numero entero múltiplo		1	18	25	19	20	21	19	24	22	19	25	24
Inventario proyectado		3	4	3	4	4	4	3	4	4	3	4	3
Inventario real al inicio	30												
Restricción derecha lote mínimo		1	35	49	37	39	41	37	47	43	37	49	47
		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Restricción izquierda lote mínimo		-99998	-99964	-99950	-99962	-99960	-99958	-99962	-99952	-99956	-99962	-99950	-99952
		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Restricción stock de seguridad		3	4	3	4	4	4	3	4	4	3	4	3
		3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Restricción lote múltiplo		2	36	50	38	40	42	38	48	44	38	50	48
		2	36	50	38	40	42	38	48	44	38	50	48
Restricción inventario máximo		3	4	3	4	4	4	3	4	4	3	4	3
		25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25

Diseño e implantación de un sistema de Planificación de la Producción de una empresa fabricante de equipos para el sector farmacéutico, alimentario y cosmético

ID Producto	A1												
Descripción producto	Pasteurizador												
Stock de seguridad (unidades)	4												
Lote mínimo	1												
Lote múltiplo	1												
Inventario máximo	30												
Coste (€/ud.)	90,00 €												
Coste lanzamiento (€/orden)	70,00 €												
Coste almacenamiento (€/€-semana)	0,50												
Semana		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Previsión		24	23	24	29	30	21	28	30	28	25	24	30
Pedidos comprometidos		30	30	21	23	24	27	30	22	29	23	28	24
Pedidos extraordinarios		0	2	2	1	1	0	1	1	0	1	1	0
Necesidades brutas		30	32	26	30	31	27	31	31	29	26	29	30
Recepciones programadas		3	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Recepciones planificadas		16	30	26	30	31	27	31	31	29	26	29	30
Binaria recepción		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Numero entero múltiplo		16	30	26	30	31	27	31	31	29	26	29	30
Inventario proyectado		4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Inventario real al inicio	15												
Restricción derecha lote mínimo		15	29	25	29	30	26	30	30	28	25	28	29
		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Restricción izquierda lote mínimo		-99984	-99970	-99974	-99970	-99969	-99973	-99969	-99969	-99971	-99974	-99971	-99970
		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Restricción stock de seguridad		4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
		4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Restricción lote múltiplo		16	30	26	30	31	27	31	31	29	26	29	30
		16	30	26	30	31	27	31	31	29	26	29	30
Restricción inventario máximo		4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
		30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30

ID Producto	A2												
Descripción producto	Fermentador de vino												
Stock de seguridad (unidades)	5												
Lote mínimo	2												
Lote múltiplo	1												
Inventario máximo	20												
Coste (€/ud.)	100,00 €												
Coste lanzamiento (€/orden)	90,00 €												
Coste almacenamiento (€/€-semana)	0,60												
Semana		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Previsión		24	26	16	21	25	30	25	19	17	16	19	25
Pedidos comprometidos		30	21	26	26	29	25	17	18	24	19	24	29
Pedidos extraordinarios		1	2	1	1	3	0	1	0	0	0	0	0
Necesidades brutas		31	28	27	27	32	30	26	19	24	19	24	29
Recepciones programadas		7	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Recepciones planificadas		7	26	26	27	32	30	26	19	24	19	24	29
Binaria recepción		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Numero entero múltiplo		7	26	26	27	32	30	26	19	24	19	24	29
Inventario proyectado		5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Inventario real al inicio	22												
Restricción derecha lote mínimo		5	24	24	25	30	28	24	17	22	17	22	27
		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Restricción izquierda lote mínimo		-99993	-99974	-99974	-99973	-99968	-99970	-99974	-99981	-99976	-99981	-99976	-99971
		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Restricción stock de seguridad		5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
		5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Restricción lote múltiplo		7	26	26	27	32	30	26	19	24	19	24	29
		7	26	26	27	32	30	26	19	24	19	24	29
Restricción inventario máximo		5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
		20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20

Diseño e implantación de un sistema de Planificación de la Producción de una empresa fabricante de equipos para el sector farmacéutico, alimentario y cosmético

ID Producto	C1												
Descripción producto	Mezclador de cremas												
Stock de seguridad (unidades)	4												
Lote mínimo	1												
Lote múltiplo	1												
Inventario máximo	40												
Coste (€/ud.)	70,00 €												
Coste lanzamiento (€/orden)	26,00 €												
Coste almacenamiento (€/€-semana)	0,25												
Semana		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Previsión		0	12	10	11	15	16	22	11	13	7	7	6
Pedidos comprometidos		1	11	10	11	14	14	15	16	12	7	6	6
Pedidos extraordinarios		1	4	3	2	0	1	2	1	0	0	1	1
Necesidades brutas		2	16	13	13	15	17	24	17	13	7	8	7
Recepciones programadas		5	5	4	2	1	0	0	0	0	0	0	0
Recepciones planificadas		0	0	7	11	14	38	12	8	13	7	8	7
Binaria recepción		0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Numero entero múltiplo		0	0	7	11	14	38	12	8	13	7	8	7
Inventario proyectado		17	6	4	4	4	25	13	4	4	4	4	4
Inventario real al inicio	14												
Restricción derecha lote mínimo		0	0	6	10	13	37	11	7	12	6	7	6
Restricción izquierda lote mínimo		0	0	-9993	-9989	-9986	-9962	-9988	-9992	-9987	-9993	-9992	-9993
Restricción stock de seguridad		17	6	4	4	4	25	13	4	4	4	4	4
Restricción lote múltiplo		0	0	7	11	14	38	12	8	13	7	8	7
Restricción inventario máximo		17	6	4	4	4	25	13	4	4	4	4	4

ID Producto	C2												
Descripción producto	Dosificadora												
Stock de seguridad (unidades)	10												
Lote mínimo	5												
Lote múltiplo	5												
Inventario máximo	70												
Coste (€/ud.)	20,00 €												
Coste lanzamiento (€/orden)	12,00 €												
Coste almacenamiento (€/€-semana)	0,05												
Semana		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Previsión		10	15	15	16	13	17	17	18	14	13	13	10
Pedidos comprometidos		9	20	23	15	13	16	16	18	13	12	13	7
Pedidos extraordinarios		0	2	1	3	0	0	2	0	1	1	1	0
Necesidades brutas		9	22	24	19	13	17	19	18	15	14	14	10
Recepciones programadas		1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Recepciones planificadas		0	20	25	40	5	0	20	20	15	15	10	10
Binaria recepción		0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1
Numero entero múltiplo		0	4	5	8	1	0	4	4	3	2	2	2
Inventario proyectado		15	13	14	35	27	10	11	13	13	14	10	10
Inventario real al inicio	23												
Restricción derecha lote mínimo		0	15	20	35	0	0	15	15	10	10	5	5
Restricción izquierda lote mínimo		0	-9980	-9975	-9960	-9995	0	-9980	-9980	-9985	-9985	-9990	-9990
Restricción stock de seguridad		15	13	14	35	27	10	11	13	13	14	10	10
Restricción lote múltiplo		0	20	25	40	5	0	20	20	15	15	10	10
Restricción inventario máximo		15	13	14	35	27	10	11	13	13	14	10	10

**RCCP**

Recepciones planificadas	Periodo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	F1	15	30	55	15	40	25	30	35	30	25	30	30
	F2	2	36	50	38	40	42	38	48	44	38	50	48
	A1	16	30	26	30	31	27	31	31	29	26	29	30
	A2	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
	C1	0	0	7	11	14	38	12	8	13	7	8	7
	C2	0	20	25	40	5	0	20	20	15	15	10	10

Diseño e implantación de un sistema de Planificación de la Producción de una empresa fabricante de equipos para el sector farmacéutico, alimentario y cosmético

Tiempos de sección (h)	Sección	Alm. Mat. P.	Torneado	Fresado	Plegado	Cilindrado	Montaje	Soldadura	Pulido	Alm. Prod. T.	
	F1	0,1	0,5	0,2	0	0,5	1	0,8	0,65	0,1	
	F2	0,2	0	0,3	0,3	0	0,9	0,85	0,5	0,1	
	A1	0,15	0	0	0,5	0,4	0,8	0,75	0,7	0,2	
	A2	0,22	0	0,4	0,6	0,6	0,8	0,8	0	0,15	
	C1	0,16	0,3	0	0	0,7	0,6	0,7	0,6	0,11	
	C2	0,25	0	0,45	0,55	0	0,65	0	0	0,2	

Número de turnos producción	1
-----------------------------	---

Periodo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Número de puestos almacén materias primas	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Número de puestos sección torneado	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Número de puestos sección fresado	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Número de puestos sección plegado	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Número de puestos sección cilindrado	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1
Número de puestos sección montaje	4	4	4	4	3	3	4	4	4	4	3	3
Número de puestos sección soldadura	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Número de puestos sección pulido	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Número de puestos sección almacén productos terminados	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2

Periodo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Carga sección almacén materias primas	5,84	21,24	28,31	26,9	21,68	22,57	23,71	25,57	23,52	20,41	22,67	22,26
Carga sección torneado	7,5	15	29,6	10,8	24,2	23,9	18,6	19,9	18,9	14,6	17,4	17,1
Carga sección fresado	6,4	28,6	40,05	35,2	25,05	20,4	29,2	33,2	28,75	25,95	28,3	27,7
Carga sección plegado	12,8	41	45,95	52,6	34,45	30,3	42,1	45,1	40,15	36,85	39,2	39,1
Carga sección cilindrado	18,1	31,2	47	31,4	46,4	54,1	40	39,7	39,9	32	36,4	36,1
Carga sección montaje	35,2	105	146,85	111,4	118,05	112,8	114,8	126,4	115,95	99,55	115,1	113,5
Carga sección soldadura	31,3	82,7	116,5	80,1	104,65	108,15	93,55	103,25	97,85	82,3	99,45	97,8
Carga sección pulido	21,95	58,5	83,15	56,35	76,1	78,95	67,4	73,25	69,6	57,65	69,6	68,7
Carga sección almacén productos terminados	5,95	17,65	22,52	21,56	17,79	17,33	19,37	20,43	18,68	16,32	17,73	17,62

Restricción almacén materias primas	5,84	21,24	28,31	26,9	21,68	22,57	23,71	25,57	23,52	20,41	22,67	22,26
Límite almacén materias primas por periodo	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40

Restricción torneado	7,5	15	29,6	10,8	24,2	23,9	18,6	19,9	18,9	14,6	17,4	17,1
Límite torneado por periodo	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80

Restricción fresado	6,4	28,6	40,05	35,2	25,05	20,4	29,2	33,2	28,75	25,95	28,3	27,7
Límite fresado por periodo	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80

Restricción plegado	12,8	41	45,95	52,6	34,45	30,3	42,1	45,1	40,15	36,85	39,2	39,1
Límite plegado por periodo	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120

Restricción cilindrado	18,1	31,2	47	31,4	46,4	54,1	40	39,7	39,9	32	36,4	36,1
Límite cilindrado por periodo	80	80	80	80	80	80	40	40	40	40	40	40

Restricción montaje	35,2	105	146,85	111,4	118,05	112,8	114,8	126,4	115,95	99,55	115,1	113,5
Límite montaje por periodo	160	160	160	160	120	120	160	160	160	160	120	120

Restricción soldadura	31,3	82,7	116,5	80,1	104,65	108,15	93,55	103,25	97,85	82,3	99,45	97,8
Límite soldadura por periodo	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120

Restricción pulido	21,95	58,5	83,15	56,35	76,1	78,95	67,4	73,25	69,6	57,65	69,6	68,7
Límite pulido por periodo	120	120	120	160	160	160	160	160	160	160	160	160

Restricción almacén productos terminados	5,95	17,65	22,52	21,56	17,79	17,33	19,37	20,43	18,68	16,32	17,73	17,62
Límite almacén productos terminados por periodo	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80

	420 €	432 €	458 €	458 €	458 €	446 €	458 €	458 €	458 €	458 €	458 €	458 €	TOTAL
Coste lanzamiento													
Coste almacenamiento	1.078 €	738 €	1.409 €	885 €	1.317 €	1.228 €	885 €	924 €	703 €	783 €	809 €	820 €	725 €
Coste total por periodo	1.498 €	1.170 €	1.867 €	1.343 €	1.775 €	1.674 €	1.382 €	1.161 €	1.241 €	1.267 €	1.278 €	1.183 €	16.838 €

## 7. Caso de Planificación de Requerimientos de Materiales

Día entrante	1
--------------	---

NIVEL 0																
ID Producto	A1															
Descripción producto	Deposito agua purificada															
Lead time	0															
Nivel	0															
Día		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Recepciones planificadas		0	0	0	2	3	1	1	0	1	2	2	0	1	0	0
Lanzamientos planificados		0	0	0	2	3	1	1	0	1	2	2	0	1	0	0
ID Producto	F2															
Descripción producto	Almacén de muestras															
Lead time	0															
Nivel	0															
Día		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Recepciones planificadas		0	0	0	0	2	4	3	2	3	1	1	2	1	2	1
Lanzamientos planificados		0	0	0	0	2	4	3	2	3	1	1	1	1	2	1
ID Producto	A1															
Descripción producto	Pasteurizador															
Lead time	0															
Nivel	0															
Día		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Recepciones planificadas		0	0	1	0	1	2	2	3	1	0	1	0	1	0	1
Lanzamientos planificados		0	0	1	0	1	2	2	3	1	0	1	0	1	0	1
ID Producto	A1															
Descripción producto	Fermentador de vino															
Lead time	0															
Nivel	0															
Día		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Recepciones planificadas		0	0	2	2	1	3	1	1	0	0	1	0	0	0	1
Lanzamientos planificados		0	0	2	2	1	3	1	1	0	0	1	0	0	0	1
ID Producto	C1															
Descripción producto	Mezclador de crema															
Lead time	0															
Nivel	0															
Día		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Recepciones planificadas		0	1	0	1	0	2	0	0	1	0	0	1	1	1	0
Lanzamientos planificados		0	1	0	1	0	2	0	0	1	0	0	1	1	1	0
ID Producto	C1															
Descripción producto	Dosificador															
Lead time	0															
Nivel	0															
Día		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Recepciones planificadas		0	0	0	1	2	2	1	0	1	0	1	1	1	0	0
Lanzamientos planificados		0	0	0	1	2	2	1	0	1	0	1	1	1	0	0

Diseño e implantación de un sistema de Planificación de la Producción de una empresa fabricante de equipos para el sector farmacéutico, alimentario y cosmético

NIVEL 1																
ID Producto	8123															
Descripción producto	Parte inferior 1															
Stock de seguridad	3															
Lead time	1															
Lote mínimo	0															
Lote múltiplo	7															
Inventario máximo	10															
Coste (€/u.)	6500 €															
Coste lanzamiento (€/orden)	4000 €															
Coste almacenamiento (€/€/semana)	1,50															
Día		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Necesidades brutas		0	0	1	2	4	4	3	3	2	2	3	0	2	0	1
Inventario proyectado	10	10	11	11	10	8	9	6	8	5	8	6	8	8	6	6
Recepciones programadas		1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Necesidades netas		-5	-6	-5	-3	1	-1	2	0	2	-1	2	-3	-1	-1	0
Recepciones planificadas		0	0	0	0	5	0	5	0	5	0	5	0	0	0	0
Binaria recepción		0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	0
Numero enteros múltiplo		0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	0
Lanzamientos planificados		0	0	0	0	5	0	5	0	5	0	5	0	0	0	0
Dato binario no recibir lotes		0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Restricción derecha lote mínimo		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Restricción izquierda lote mínimo		0	0	0	0	-995	0	0	0	-995	0	0	-995	0	0	0
Restricción stock de seguridad		10	11	11	10	8	9	6	8	5	8	6	8	8	6	6
Restricción lote múltiplo		0	0	0	0	5	0	5	0	5	0	5	0	0	0	0
Restricción inventario máximo		10	11	11	10	8	9	6	8	5	8	6	8	8	6	6
Restricción no recepción		0	0	-1000	0	0	-995	0	0	-995	-1000	0	-995	-1000	0	-1000
ID Producto	8783															
Descripción producto	Camisa															
Stock de seguridad	3															
Lead time	1															
Lote mínimo	5															
Lote múltiplo	7															
Inventario máximo	10															
Coste (€/u.)	5000 €															
Coste lanzamiento (€/orden)	3000 €															
Coste almacenamiento (€/€/semana)	2,00															
Día		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Necesidades brutas		0	0	3	4	5	6	4	4	2	4	0	2	2	0	2
Inventario proyectado	7	7	7	0	6	6	3	5	5	5	5	5	3	5	3	3
Recepciones programadas		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Necesidades netas		-2	-2	-1	3	4	6	4	4	2	2	4	0	2	2	2
Recepciones planificadas		0	2	0	4	4	6	4	4	2	2	4	0	2	0	0
Binaria recepción		0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
Numero enteros múltiplo		0	1	0	2	2	3	2	2	1	1	2	0	1	0	0
Lanzamientos planificados		2	0	4	4	6	4	4	2	2	4	0	2	0	0	0
Dato binario no recibir lotes		0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Restricción derecha lote mínimo		0	2	0	4	4	6	4	4	2	2	4	0	2	0	0
Restricción izquierda lote mínimo		0	-998	0	-996	-996	-994	-996	-996	-998	-998	-996	0	-998	0	0
Restricción stock de seguridad		7	7	9	6	6	5	5	5	5	5	5	3	5	3	3
Restricción lote múltiplo		0	2	0	4	4	6	4	4	2	2	4	0	2	0	0
Restricción inventario máximo		7	7	9	6	6	5	5	5	5	5	3	5	3	3	3
Restricción no recepción		0	-998	-1000	-996	-996	-994	-996	-996	-998	-998	-996	-1000	-998	-1000	-1000
ID Producto	8786															
Descripción producto	Camisa															
Stock de seguridad	3															
Lead time	0															
Lote mínimo	0															
Lote múltiplo	7															
Inventario máximo	10															
Coste (€/u.)	5000 €															
Coste lanzamiento (€/orden)	3000 €															
Coste almacenamiento (€/€/semana)	2,00															
Día		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Necesidades brutas		0	0	3	4	5	6	4	4	2	2	4	0	2	0	2
Inventario proyectado	7	7	7	0	6	6	3	5	5	5	5	5	3	5	3	3
Recepciones programadas		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Necesidades netas		-2	-2	-1	3	4	6	4	4	2	2	4	0	2	2	2
Recepciones planificadas		0	2	0	4	4	6	4	4	2	2	4	0	2	0	0
Binaria recepción		0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
Numero enteros múltiplo		0	1	0	2	2	3	2	2	1	1	2	0	1	0	0
Lanzamientos planificados		2	0	4	4	6	4	4	2	2	4	0	2	0	0	0
Dato binario no recibir lotes		0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Restricción derecha lote mínimo		0	2	0	4	4	6	4	4	2	2	4	0	2	0	0
Restricción izquierda lote mínimo		0	-998	0	-996	-996	-994	-996	-996	-998	-998	-996	0	-998	0	0
Restricción stock de seguridad		7	7	9	6	6	5	5	5	5	5	3	5	3	3	3
Restricción lote múltiplo		0	2	0	4	4	6	4	4	2	2	4	0	2	0	0
Restricción inventario máximo		7	7	9	6	6	5	5	5	5	5	3	5	3	3	3
Restricción no recepción		0	-998	-1000	-996	-996	-994	-996	-996	-998	-998	-996	-1000	-998	-1000	-1000
ID Producto	8776															
Descripción producto	Parte superior 1															
Stock de seguridad	0															
Lead time	0															
Lote mínimo	2															
Lote múltiplo	1															
Inventario máximo	25															
Coste (€/u.)	3500 €															
Coste lanzamiento (€/orden)	1000 €															
Coste almacenamiento (€/€/semana)	2,00															
Día		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Necesidades brutas		0	0	0	2	3	3	1	1	0	3	2	2	0	1	0
Inventario proyectado	12	12	14	14	14	12	9	8	7	7	6	6	6	6	5	5
Recepciones programadas		2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Necesidades netas		-2	-2	-3	4	6	3	7	7	7	6	6	6	6	5	5
Recepciones planificadas		0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	0	0	0	0
Binaria recepción		0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0
Numero enteros múltiplo		0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0
Lanzamientos planificados		0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	0	0	0	0
Dato binario no recibir lotes		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Restricción derecha lote mínimo		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Restricción izquierda lote mínimo		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-998	-998	0	0	0
Restricción stock de seguridad		12	14	14	14	12	9	8	7	7	6	6	6	6	5	5
Restricción lote múltiplo		0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	0	0	0	0
Restricción inventario máximo		12	14	14	14	12	9	8	7	7	6	6	6	6	5	5
Restricción no recepción		-1000	-1000	-1000	-1000	-1000	-1000	-1000	-1000	-1000	-998	-998	-1000	-1000	-1000	-1000

Diseño e implantación de un sistema de Planificación de la Producción de una empresa fabricante de equipos para el sector farmacéutico, alimentario y cosmético

ID Producto	c134														
Descripción producto															
Stock de seguridad	Cálculo														
Lead time	1														
Lote mínimo	1														
Lote múltiplo	4														
Inventario máximo	100														
Coste (€/u.)	31,00 €														
Coste lanzamiento (€/orden)	15,00 €														
Coste almacenamiento (€/€/semana)	2,00														
Día	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Necesidades brutas	0	0	0	0	20	40	30	20	30	10	10	10	10	20	10
Inventario proyectado	30	31	31	31	31	11	7	9	9	7	9	7	9	7	7
Recepciones programadas	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Necesidades netas	-25	-25	-25	-25	-5	35	29	17	27	9	7	9	7	7	19
Recepciones planificadas	0	0	0	0	0	36	32	20	28	12	8	12	8	20	0
Binaria recepción	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
Numero entero múltiplo	0	0	0	0	0	9	8	5	7	3	2	3	2	5	0
Lanzamientos planificados	0	0	0	0	36	32	20	28	12	8	12	8	20	0	0
Data binaria no recibir lotes	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Restricción derecha lote mínimo	0	0	0	0	0	36	32	20	28	12	8	12	8	20	0
Restricción izquierda lote mínimo	0	0	0	0	0	-964	-968	-980	-972	-988	-992	-988	-992	-980	0
Restricción stock de seguridad	30	31	31	31	31	11	7	9	9	7	9	7	9	7	7
Restricción lote múltiplo	0	0	0	0	0	36	32	20	28	12	8	12	8	20	0
Restricción inventario máximo	30	31	31	31	31	11	7	9	9	7	9	7	9	7	7
Restricción no recepción	0	-1000	-1000	-1000	-1000	-964	-968	-980	-972	-988	-992	-988	-992	-980	-1000

ID Producto	c783														
Descripción producto															
Stock de seguridad	Cálculo														
Lead time	1														
Lote mínimo	1														
Lote múltiplo	1														
Inventario máximo	21														
Coste (€/u.)	42,00 €														
Coste lanzamiento (€/orden)	20,00 €														
Coste almacenamiento (€/€/semana)	2,00														
Día	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Necesidades brutas	0	0	0	1	4	6	4	2	4	1	2	2	2	2	1
Inventario proyectado	15	16	16	16	15	11	9	9	9	8	8	8	8	8	8
Recepciones programadas	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Necesidades netas	-8	-8	-8	-7	-3	3	3	1	3	0	2	2	2	2	1
Recepciones planificadas	0	0	0	0	0	4	4	2	4	0	2	2	2	2	0
Binaria recepción	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0
Numero entero múltiplo	0	0	0	0	0	2	2	1	2	0	1	1	1	1	0
Lanzamientos planificados	0	0	0	0	0	4	4	2	4	0	2	2	2	2	0
Data binaria no recibir lotes	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Restricción derecha lote mínimo	0	0	0	0	0	4	4	2	4	0	2	2	2	2	0
Restricción izquierda lote mínimo	0	0	0	0	0	-996	-996	-998	-996	0	-998	-998	-998	-998	0
Restricción stock de seguridad	15	16	16	16	15	11	9	9	9	8	8	8	8	8	8
Restricción lote múltiplo	0	0	0	0	0	4	4	2	4	0	2	2	2	2	0
Restricción inventario máximo	15	16	16	16	15	11	9	9	9	8	8	8	8	8	8
Restricción no recepción	0	-1000	-1000	-1000	-1000	-996	-996	-998	-996	0	-998	-998	-998	-998	-1000

ID Producto	e771a														
Descripción producto															
Stock de seguridad	Cálculo														
Lead time	1														
Lote mínimo	1														
Lote múltiplo	1														
Inventario máximo	25														
Coste (€/u.)	31,00 €														
Coste lanzamiento (€/orden)	22,00 €														
Coste almacenamiento (€/€/semana)	2,00														
Día	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Necesidades brutas	0	0	0	1	4	6	4	2	4	1	2	2	2	2	1
Inventario proyectado	15	16	21	21	20	16	10	6	4	3	2	2	2	2	2
Recepciones programadas	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Necesidades netas	-14	-14	-19	-19	-14	-6	-4	-2	2	0	2	2	2	2	1
Recepciones planificadas	0	5	0	0	0	0	0	0	3	0	2	2	2	2	0
Binaria recepción	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	1	0
Numero entero múltiplo	0	5	0	0	0	0	0	0	3	0	2	2	2	2	0
Lanzamientos planificados	5	0	0	0	0	0	0	3	0	2	2	2	2	0	0
Data binaria no recibir lotes	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Restricción derecha lote mínimo	0	5	0	0	0	0	0	0	3	0	2	2	2	2	0
Restricción izquierda lote mínimo	0	-995	0	0	0	0	0	0	-997	0	-998	-998	-998	-998	0
Restricción stock de seguridad	15	16	21	21	20	16	10	6	4	3	2	2	2	2	2
Restricción lote múltiplo	0	5	0	0	0	0	0	0	3	0	2	2	2	2	0
Restricción inventario máximo	15	16	21	21	20	16	10	6	4	3	2	2	2	2	2
Restricción no recepción	0	-995	-1000	-1000	-1000	-1000	-1000	-1000	-997	-1000	-998	-998	-998	-998	-1000

ID Producto	e771b														
Descripción producto															
Stock de seguridad	Cálculo														
Lead time	1														
Lote mínimo	1														
Lote múltiplo	1														
Inventario máximo	21														
Coste (€/u.)	34,00 €														
Coste lanzamiento (€/orden)	10,00 €														
Coste almacenamiento (€/€/semana)	2,00														
Día	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Necesidades brutas	0	1	3	3	2	7	3	4	2	0	2	1	2	1	2
Inventario proyectado	14	25	25	23	20	18	11	8	6	6	6	6	6	6	6
Recepciones programadas	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Necesidades netas	-9	18	-16	-14	-12	-5	-2	2	2	0	2	1	2	0	2
Recepciones planificadas	10	1	1	0	0	0	0	0	2	0	2	1	2	0	0
Binaria recepción	1	1	1	0	0	0	0	1	1	0	1	1	1	0	0
Numero entero múltiplo	10	1	1	0	0	0	0	2	2	0	2	1	3	0	0
Lanzamientos planificados	10	1	1	0	0	0	0	2	2	0	2	1	3	0	0
Data binaria no recibir lotes	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Restricción derecha lote mínimo	10	1	1	0	0	0	0	2	2	0	2	1	3	0	0
Restricción izquierda lote mínimo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Restricción stock de seguridad	14	25	25	23	20	18	11	8	6	6	6	6	6	6	6
Restricción lote múltiplo	10	1	1	0	0	0	0	2	2	0	2	1	3	0	0
Restricción inventario máximo	14	25	25	23	20	18	11	8	6	6	6	6	6	6	6
Restricción no recepción	-990	-999	-999	-1000	-1000	-1000	-1000	-998	-998	-1000	-998	-999	-997	-1000	-1000

Diseño e implantación de un sistema de Planificación de la Producción de una empresa fabricante de equipos para el sector farmacéutico, alimentario y cosmético

ID Producto	c712	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Descripción producto	Paño infantil															
Stock de seguridad	5															
Lead time	0															
Lote mínimo	0															
Lote múltiplo	1															
Inventario máximo	25															
Coste (€/lot.)	35,00 €															
Coste lanzamiento (€/orden)	20,00 €															
Coste almacenamiento (€/€/semana)	2,00															
Día		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Necesidades brutas		0	1	2	3	1	5	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Inventario proyectado	16	16	25	25	25	25	24	21	20	19	18	18	17	16	15	14
Recepciones programadas		1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Necesidades netas		-12	-19	-18	-17	-19	-14	-15	-14	-13	-12	-11	-10	-9	-8	-8
Recepciones planificadas		8	1	2	3	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Binaria recepción		1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Numero entero múltiplo		8	1	2	3	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Lanzamientos planificados		8	1	2	3	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Dato binaria no recibir lotes		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Restricción derecha lote mínimo		8	1	2	3	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Restricción izquierda lote mínimo		-992	-999	-998	-997	-1000	-998	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Restricción stock de seguridad		16	25	25	25	25	24	21	20	19	18	18	17	16	15	14
Restricción lote múltiplo		8	1	2	3	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Restricción inventario máximo		16	25	25	25	25	24	21	20	19	18	18	17	16	15	14
Restricción no recepción		-992	-999	-998	-997	-1000	-998	-1000	-1000	-1000	-1000	-1000	-1000	-1000	-1000	-1000

ID Producto	c764	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Descripción producto	Camisa básica															
Stock de seguridad	0															
Lead time	0															
Lote mínimo	0															
Lote múltiplo	1															
Inventario máximo	25															
Coste (€/lot.)	37,00 €															
Coste lanzamiento (€/orden)	21,00 €															
Coste almacenamiento (€/€/semana)	2,00															
Día		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Necesidades brutas		0	1	10	1	0	2	0	0	1	0	1	1	1	1	0
Inventario proyectado	18	18	19	18	18	17	17	15	15	15	14	14	14	13	12	11
Recepciones programadas		1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Necesidades netas		-19	-18	-18	-17	-17	-15	-15	-14	-14	-14	-13	-12	-11	-11	-11
Recepciones planificadas		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Binaria recepción		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Numero entero múltiplo		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Lanzamientos planificados		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Dato binaria no recibir lotes		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Restricción derecha lote mínimo		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Restricción izquierda lote mínimo		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Restricción stock de seguridad		18	19	18	18	17	17	15	15	15	14	14	14	13	12	11
Restricción lote múltiplo		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Restricción inventario máximo		18	19	18	18	17	17	15	15	15	14	14	14	13	12	11
Restricción no recepción		-1000	-1000	-1000	-1000	-1000	-1000	-1000	-1000	-1000	-1000	-1000	-1000	-1000	-1000	-1000

ID Producto	c125	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Descripción producto	Caja contenedores															
Stock de seguridad	7															
Lead time	0															
Lote mínimo	0															
Lote múltiplo	1															
Inventario máximo	25															
Coste (€/lot.)	37,00 €															
Coste lanzamiento (€/orden)	28,00 €															
Coste almacenamiento (€/€/semana)	2,00															
Día		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Necesidades brutas		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Inventario proyectado	18	18	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
Recepciones programadas		1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Necesidades netas		-12	-18	-18	-18	-18	-18	-18	-18	-18	-18	-18	-18	-18	-18	-18
Recepciones planificadas		6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Binaria recepción		1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Numero entero múltiplo		6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Lanzamientos planificados		6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Dato binaria no recibir lotes		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Restricción derecha lote mínimo		6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Restricción izquierda lote mínimo		-994	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Restricción stock de seguridad		18	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
Restricción lote múltiplo		6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Restricción inventario máximo		18	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
Restricción no recepción		-994	-1000	-1000	-1000	-1000	-1000	-1000	-1000	-1000	-1000	-1000	-1000	-1000	-1000	-1000

Diseño e implantación de un sistema de Planificación de la Producción de una empresa fabricante de equipos para el sector farmacéutico, alimentario y cosmético

NIVEL 2																
ID Producto	0233															
Descripción producto	Para															
Stock de seguridad	10															
Lead time	0															
Lote mínimo	0															
Lote múltiplo	1															
Inventario máximo	100															
Coste (€/ud.)	10,00 €															
Coste lanzamiento (€/orden)	5,00 €															
Coste almacenamiento (€/€semana)	0,50															
Día		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Necesidades brutas		32	4	8	32	0	28	0	20	0	20	0	0	0	0	0
Inventario proyectado	50	18	22	20	12	17	17	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Recepciones programadas		4	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Necesidades netas		-12	-10	-2	30	-7	21	0	20	0	20	0	0	0	0	0
Recepciones planificadas		0	0	0	37	0	21	0	20	0	20	0	0	0	0	0
Binaria recepción		0	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0
Numero entero múltiplo		0	0	0	37	0	21	0	20	0	20	0	0	0	0	0
Lanzamientos planificados		0	0	0	37	0	21	0	20	0	20	0	0	0	0	0
Data binaria no recibir lotes		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Restricción derecha lote mínimo		0	0	0	37	0	21	0	20	0	20	0	0	0	0	0
Restricción izquierda lote mínimo		0	0	0	-963	0	-979	0	-980	0	-980	0	0	0	0	0
Restricción stock de seguridad		50	22	20	12	17	17	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Restricción lote múltiplo		0	0	0	37	0	21	0	20	0	20	0	0	0	0	0
Restricción inventario máximo		50	22	20	12	17	17	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Restricción no recepción		-1000	-1000	-1000	-963	-1000	-979	-1000	-980	-1000	-980	-1000	-1000	-1000	-1000	-1000
ID Producto	0543															
Descripción producto	Base															
Stock de seguridad	10															
Lead time	0															
Lote mínimo	0															
Lote múltiplo	1															
Inventario máximo	150															
Coste (€/ud.)	5,00 €															
Coste lanzamiento (€/orden)	3,00 €															
Coste almacenamiento (€/€semana)	0,20															
Día		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Necesidades brutas		22	4	8	30	0	28	0	20	0	20	0	0	0	0	0
Inventario proyectado	100	78	74	70	38	38	38	30	27	10	10	10	10	10	10	10
Recepciones programadas		2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Necesidades netas		-60	-63	-56	-28	-28	0	17	3	0	20	0	0	0	0	0
Recepciones planificadas		6	1	4	0	0	0	17	3	0	20	0	0	0	0	0
Binaria recepción		1	1	1	0	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0
Numero entero múltiplo		6	1	4	0	0	0	17	3	0	20	0	0	0	0	0
Lanzamientos planificados		6	1	4	0	0	0	17	3	0	20	0	0	0	0	0
Data binaria no recibir lotes		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Restricción derecha lote mínimo		6	1	4	0	0	0	17	3	0	20	0	0	0	0	0
Restricción izquierda lote mínimo		-994	-999	-996	0	0	0	-983	-997	0	-980	0	0	0	0	0
Restricción stock de seguridad		100	76	74	70	38	38	30	27	10	10	10	10	10	10	10
Restricción lote múltiplo		6	1	4	0	0	0	17	3	0	20	0	0	0	0	0
Restricción inventario máximo		100	76	74	70	38	38	30	27	10	10	10	10	10	10	10
Restricción no recepción		-994	-999	-996	-1000	-1000	-1000	-983	-997	-1000	-980	-1000	-1000	-1000	-1000	-1000
ID Producto	1470															
Descripción producto	Fondo tipo 1															
Stock de seguridad	2															
Lead time	0															
Lote mínimo	0															
Lote múltiplo	1															
Inventario máximo	10															
Coste (€/ud.)	12,00 €															
Coste lanzamiento (€/orden)	8,00 €															
Coste almacenamiento (€/€semana)	1,00															
Día		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Necesidades brutas		0	0	0	5	0	5	0	5	0	7	2	0	0	0	0
Inventario proyectado	13	27	27	27	22	22	17	17	12	12	5	3	3	3	3	3
Recepciones programadas		13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Necesidades netas		-12	-25	-25	-20	-20	-15	-15	-10	-10	-3	-1	-1	-1	-1	-1
Recepciones planificadas		13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Binaria recepción		1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Numero entero múltiplo		13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Lanzamientos planificados		13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Data binaria no recibir lotes		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Restricción derecha lote mínimo		13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Restricción izquierda lote mínimo		-987	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Restricción stock de seguridad		13	27	27	27	22	22	17	17	12	12	5	3	3	3	3
Restricción lote múltiplo		13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Restricción inventario máximo		13	27	27	27	22	22	17	17	12	12	5	3	3	3	3
Restricción no recepción		-987	-1000	-1000	-1000	-995	-1000	-995	-1000	-995	-1000	-995	-1000	-1000	-1000	-1000
ID Producto	1676															
Descripción producto	Vialito															
Stock de seguridad	0															
Lead time	0															
Lote mínimo	0															
Lote múltiplo	1															
Inventario máximo	12															
Coste (€/ud.)	90,00 €															
Coste lanzamiento (€/orden)	20,00 €															
Coste almacenamiento (€/€semana)	1,00															
Día		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Necesidades brutas		4	0	0	8	12	8	8	4	4	8	0	4	0	0	0
Inventario proyectado	6	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Recepciones programadas		1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Necesidades netas		0	0	0	8	12	8	8	4	4	8	0	4	0	0	0
Recepciones planificadas		0	0	0	8	12	8	8	4	4	8	0	4	0	0	0
Binaria recepción		0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Numero entero múltiplo		0	0	0	8	12	8	8	4	4	8	0	4	0	0	0
Lanzamientos planificados		0	0	0	8	12	8	8	4	4	8	0	4	0	0	0
Data binaria no recibir lotes		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Restricción derecha lote mínimo		0	0	0	8	12	8	8	4	4	8	0	4	0	0	0
Restricción izquierda lote mínimo		0	0	-992	-992	-988	-992	-992	-996	-996	-992	0	-996	0	0	0
Restricción stock de seguridad		6	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Restricción lote múltiplo		0	0	0	8	12	8	8	4	4	8	0	4	0	0	0
Restricción inventario máximo		6	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Restricción no recepción		-1000	-1000	-992	-992	-988	-992	-992	-996	-996	-992	-1000	-996	-1000	-1000	-1000

Diseño e implantación de un sistema de Planificación de la Producción de una empresa fabricante de equipos para el sector farmacéutico, alimentario y cosmético

ID Producto	1112															
Descripción producto		Lana rosa														
Stock de seguridad		0														
Lead time		0														
Lote mínimo		0														
Lote múltiplo		1														
Inventario máximo		20														
Coste (€/ud.)		1000€														
Coste lanzamiento (€/orden)		500€														
Coste almacenamiento (€/€-semana)		1,00€														
Día		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Necesidades brutas		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Inventario proyectado	10	10	12	12	8	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Recepciones programadas		4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Necesidades netas		7	-2	-3	1	6	4	4	4	2	4	0	2	0	0	0
Recepciones planificadas		0	0	0	1	6	4	4	2	2	4	0	2	0	0	0
Binaria recepción		0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	0
Numero entero múltiplo		0	0	0	1	6	4	4	2	2	4	0	2	0	0	0
Lanzamientos planificados		0	0	0	1	6	4	4	2	2	4	0	2	0	0	0
Dato binaria no recibir lotes		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Restricción derecha lote mínimo		0	0	0	1	6	4	4	2	2	4	0	2	0	0	0
Restricción izquierda lote mínimo		0	0	0	-999	-994	-996	-996	-998	-998	-996	0	-998	0	0	0
Restricción stock de seguridad		10	12	12	8	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Restricción lote múltiplo		0	0	0	1	6	4	4	2	2	4	0	2	0	0	0
Restricción inventario máximo		10	12	12	8	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Restricción no recepción		-1000	-1000	-1000	-999	-994	-996	-996	-998	-998	-996	-1000	-998	-1000	-1000	-1000
		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

ID Producto	6553															
Descripción producto		Vicos														
Stock de seguridad		0														
Lead time		0														
Lote mínimo		0														
Lote múltiplo		1														
Inventario máximo		20														
Coste (€/ud.)		35,00€														
Coste lanzamiento (€/orden)		15,00€														
Coste almacenamiento (€/€-semana)		1,20€														
Día		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Necesidades brutas		2	0	0	4	4	6	4	4	2	4	0	2	0	0	0
Inventario proyectado	12	12	12	12	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
Recepciones programadas		2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Necesidades netas		4	-4	0	4	6	4	4	4	2	4	0	2	0	0	0
Recepciones planificadas		0	0	0	4	6	4	4	2	2	4	0	2	0	0	0
Binaria recepción		0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	0
Numero entero múltiplo		0	0	0	4	6	4	4	2	2	4	0	2	0	0	0
Lanzamientos planificados		0	0	0	4	6	4	4	2	2	4	0	2	0	0	0
Dato binaria no recibir lotes		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Restricción derecha lote mínimo		0	0	0	4	6	4	4	2	2	4	0	2	0	0	0
Restricción izquierda lote mínimo		0	0	0	-996	-994	-996	-996	-998	-998	-996	0	-998	0	0	0
Restricción stock de seguridad		12	12	12	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
Restricción lote múltiplo		0	0	0	4	6	4	4	2	2	4	0	2	0	0	0
Restricción inventario máximo		12	12	12	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
Restricción no recepción		-1000	-1000	-1000	-996	-994	-996	-996	-998	-998	-996	-1000	-998	-1000	-1000	-1000
		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

ID Producto	c991															
Descripción producto		Chapa pequeña														
Stock de seguridad		0														
Lead time		0														
Lote mínimo		0														
Lote múltiplo		1														
Inventario máximo		25														
Coste (€/ud.)		55,00€														
Coste lanzamiento (€/orden)		28,00€														
Coste almacenamiento (€/€-semana)		2,00€														
Día		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Necesidades brutas		36	0	0	0	144	128	80	112	48	32	48	32	80	0	0
Inventario proyectado	15	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Recepciones programadas		2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Necesidades netas		24	0	0	0	144	128	80	112	48	32	48	32	80	0	0
Recepciones planificadas		24	0	0	0	144	128	80	112	48	32	48	32	80	0	0
Binaria recepción		1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Numero entero múltiplo		24	0	0	0	144	128	80	112	48	32	48	32	80	0	0
Lanzamientos planificados		24	0	0	0	144	128	80	112	48	32	48	32	80	0	0
Dato binaria no recibir lotes		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Restricción derecha lote mínimo		24	0	0	0	144	128	80	112	48	32	48	32	80	0	0
Restricción izquierda lote mínimo		-976	0	0	0	-856	-872	-920	-888	-952	-968	-952	-968	-920	0	0
Restricción stock de seguridad		15	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Restricción lote múltiplo		24	0	0	0	144	128	80	112	48	32	48	32	80	0	0
Restricción inventario máximo		15	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Restricción no recepción		-976	-1000	-1000	-1000	-856	-872	-920	-888	-952	-968	-952	-968	-920	-1000	-1000
		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

ID Producto	g624															
Descripción producto		Gula rodante														
Stock de seguridad		15														
Lead time		0														
Lote mínimo		0														
Lote múltiplo		1														
Inventario máximo		30														
Coste (€/ud.)		31,00€														
Coste lanzamiento (€/orden)		20,00€														
Coste almacenamiento (€/€-semana)		2,00€														
Día		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Necesidades brutas		0	0	0	0	72	64	40	56	24	16	24	16	40	0	0
Inventario proyectado	16	15	17	17	17	17	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
Recepciones programadas		1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Necesidades netas		-2	-2	-2	-2	70	64	40	56	24	16	24	16	40	0	0
Recepciones planificadas		0	0	0	0	70	64	40	56	24	16	24	16	40	0	0
Binaria recepción		0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Numero entero múltiplo		0	0	0	0	70	64	40	56	24	16	24	16	40	0	0
Lanzamientos planificados		0	0	0	0	70	64	40	56	24	16	24	16	40	0	0
Dato binaria no recibir lotes		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Restricción derecha lote mínimo		0	0	0	0	70	64	40	56	24	16	24	16	40	0	0
Restricción izquierda lote mínimo		0	0	0	0	-930	-936	-960	-944	-976	-984	-976	-984	-960	0	0
Restricción stock de seguridad		16	17	17	17	17	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
Restricción lote múltiplo		0	0	0	0	70	64	40	56	24	16	24	16	40	0	0
Restricción inventario máximo		16	17	17	17	17	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
Restricción no recepción		-1000	-1000	-1000	-1000	-930	-936	-960	-944	-976	-984	-976	-984	-960	-1000	-1000
		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

# Diseño e implantación de un sistema de Planificación de la Producción de una empresa fabricante de equipos para el sector farmacéutico, alimentario y cosmético

ID Producto	4653															
Descripción producto		Chapa medicina														
Stock de seguridad		0														
Lead time		0														
Lote mínimo		0														
Lote múltiplo		1														
Inventario máximo		35														
Coste (€/ud.)		31,024 €														
Coste lanzamiento (€/orden)		22,00 €														
Coste almacenamiento (€/€-semana)		1,50														
Día		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Necesidades brutas		12	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
Inventario proyectado		12	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
Recepciones programadas		1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Necesidades netas		-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2
Recepciones planificadas		0	0	0	0	0	0	6	8	7	8	2	6	6	6	4
Binaria recepción		0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Número entero múltiplo		0	0	0	0	0	0	6	8	7	8	2	6	6	6	4
Lanzamientos planificados		0	0	0	0	0	0	6	8	7	8	2	6	6	6	4
Fecha binaria no recibir lotes		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Restricción derecha lote mínimo		0	0	0	0	0	0	6	8	7	8	2	6	6	6	4
Restricción izquierda lote mínimo		0	0	0	0	0	0	-994	-992	-993	-992	-996	-994	-994	-994	-996
Restricción stock de seguridad		12	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
Restricción lote múltiplo		0	0	0	0	0	0	6	8	7	8	2	6	6	6	4
Restricción inventario máximo		12	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
Restricción no recepción		1000	-1000	-1000	-1000	-1000	-1000	-994	-992	-993	-992	-996	-994	-994	-996	-1000
ID Producto		4479														
Descripción producto		Rueda														
Stock de seguridad		0														
Lead time		0														
Lote mínimo		0														
Lote múltiplo		1														
Inventario máximo		50														
Coste (€/ud.)		35,00 €														
Coste lanzamiento (€/orden)		20,00 €														
Coste almacenamiento (€/€-semana)		1,40														
Día		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Necesidades brutas		20	0	0	0	0	0	0	12	0	8	8	8	8	8	0
Inventario proyectado		11	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Recepciones programadas		1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Necesidades netas		18	0	0	0	0	0	0	12	0	8	8	8	8	8	0
Recepciones planificadas		18	0	0	0	0	0	0	0	8	8	8	8	8	8	0
Binaria recepción		1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	1	0
Número entero múltiplo		18	0	0	0	0	0	0	12	0	8	8	8	8	8	0
Lanzamientos planificados		18	0	0	0	0	0	0	12	0	8	8	8	8	8	0
Fecha binaria no recibir lotes		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Restricción derecha lote mínimo		18	0	0	0	0	0	0	12	0	8	8	8	8	8	0
Restricción izquierda lote mínimo		-982	0	0	0	0	0	0	-988	0	-992	-992	-992	-992	0	0
Restricción stock de seguridad		11	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Restricción lote múltiplo		18	0	0	0	0	0	0	12	0	8	8	8	8	8	0
Restricción inventario máximo		11	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Restricción no recepción		982	-1000	-1000	-1000	-1000	-1000	-988	-1000	-992	-992	-992	-992	-1000	-1000	-1000
ID Producto		4479														
Descripción producto		Fondo tipo 2														
Stock de seguridad		0														
Lead time		0														
Lote mínimo		0														
Lote múltiplo		1														
Inventario máximo		27														
Coste (€/ud.)		27,00 €														
Coste lanzamiento (€/orden)		11,00 €														
Coste almacenamiento (€/€-semana)		1,50														
Día		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Necesidades brutas		16	7	1	1	0	0	0	2	2	2	2	2	2	2	2
Inventario proyectado		16	7	1	1	0	0	0	2	2	2	2	2	2	2	2
Recepciones programadas		1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Necesidades netas		-2	-1	0	0	0	0	0	2	2	2	2	2	2	2	0
Recepciones planificadas		0	0	0	0	0	0	0	2	2	2	2	2	2	2	0
Binaria recepción		0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0
Número entero múltiplo		0	0	0	0	0	0	0	2	2	2	2	2	2	2	0
Lanzamientos planificados		0	0	0	0	0	0	0	2	2	2	2	2	2	2	0
Fecha binaria no recibir lotes		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Restricción derecha lote mínimo		0	0	0	0	0	0	0	2	2	2	2	2	2	2	0
Restricción izquierda lote mínimo		0	0	0	0	0	0	0	-998	-998	0	-998	-999	-997	0	0
Restricción stock de seguridad		16	7	1	1	0	0	0	2	2	2	2	2	2	2	2
Restricción lote múltiplo		0	0	0	0	0	0	0	2	2	2	2	2	2	2	0
Restricción inventario máximo		16	7	1	1	0	0	0	2	2	2	2	2	2	2	2
Restricción no recepción		-1000	-1000	-1000	-1000	-1000	-1000	-1000	-998	-998	-1000	-998	-999	-997	-1000	-1000
ID Producto		4479														
Descripción producto		Fondo tipo 2														
Stock de seguridad		2														
Lead time		0														
Lote mínimo		0														
Lote múltiplo		1														
Inventario máximo		28														
Coste (€/ud.)		38,00 €														
Coste lanzamiento (€/orden)		14,00 €														
Coste almacenamiento (€/€-semana)		3,00														
Día		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Necesidades brutas		17	10	9	7	4	4	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Inventario proyectado		17	10	9	7	4	4	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Recepciones programadas		1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Necesidades netas		-8	-7	-5	-5	-2	-2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Recepciones planificadas		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Binaria recepción		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Número entero múltiplo		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Lanzamientos planificados		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fecha binaria no recibir lotes		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Restricción derecha lote mínimo		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Restricción izquierda lote mínimo		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Restricción stock de seguridad		17	10	9	7	4	4	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Restricción lote múltiplo		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Restricción inventario máximo		17	10	9	7	4	4	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Restricción no recepción		-1000	-1000	-1000	-1000	-1000	-1000	-1000	-1000	-1000	-1000	-1000	-1000	-1000	-1000	-1000

Diseño e implantación de un sistema de Planificación de la Producción de una empresa fabricante de equipos para el sector farmacéutico, alimentario y cosmético

ID Producto	6651															
Descripción producto	Boca boca															
Stock de seguridad	12															
Lead time	0															
Lote mínimo	0															
Lote múltiplo	1															
Inventario máximo	25															
Coste (€/ud)	45,00 €															
Coste lanzamiento (€/orden)	20,00 €															
Coste almacenamiento (€/€-semana)	1,80															
Día		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Necesidades brutas		6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Inventario proyectado	15	15	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
Recepciones programadas		1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Necesidades netas		2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Recepciones planificadas		2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Binaria recepción		1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Numero entero múltiplo		1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Lanzamientos planificados		2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Dato binaria no recibir lotes		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Restricción derecha lote mínimo		2	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
Restricción izquierda lote mínimo		-998	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
Restricción stock de seguridad		15	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
		12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
Restricción lote múltiplo		2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Restricción inventario máximo		15	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
		25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
Restricción no recepción		-998	-1000	-1000	-1000	-1000	-1000	-1000	-1000	-1000	-1000	-1000	-1000	-1000	-1000	-1000
		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Diseño e implantación de un sistema de Planificación de la Producción de una empresa fabricante de equipos para el sector farmacéutico, alimentario y cosmético

NIVEL 3																
ID Producto	1933															
Descripción producto	Tornillo															
Stock de seguridad	50															
Lead time	0															
Lote mínimo	0															
Lote múltiplo	1															
Inventario máximo	1000															
Coste (€/ud.)	0,50 €															
Coste lanzamiento (€/orden)	0,01 €															
Coste almacenamiento (€/C-semana)	0,06															
Día		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Necesidades brutas	80	6	24	0	280	352	358	314	192	200	160	128	224	48	0	
Inventario proyectado	500	450	454	430	430	150	50	50	50	50	50	50	50	50	50	
Recepciones programadas	30	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Recepciones planificadas	0	0	0	0	0	252	358	314	192	200	160	128	224	48	0	
Recepciones netas	-400	-404	-380	-380	-100	-252	-358	-314	-192	-200	-160	-128	-224	-48	0	
Recepciones planificadas	0	0	0	0	0	252	358	314	192	200	160	128	224	48	0	
Binaria recepción	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	
Numero entero múltiplo	0	0	0	0	0	252	358	314	192	200	160	128	224	48	0	
Lanzamientos planificados	0	0	0	0	0	252	358	314	192	200	160	128	224	48	0	
Dato binaria no recibir lotes	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
Restricción derecha lote mínimo	0	0	0	0	0	252	358	314	192	200	160	128	224	48	0	
Restricción izquierda lote mínimo	0	0	0	0	0	-748	-642	-686	-808	-800	-840	-872	-776	-952	0	
Restricción stock de seguridad	500	450	454	430	430	150	50	50	50	50	50	50	50	50	50	
Restricción lote múltiplo	0	0	0	0	0	252	358	314	192	200	160	128	224	48	0	
Restricción inventario máximo	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	
Restricción no recepción	-1000	-1000	-1000	-1000	-1000	-748	-642	-686	-808	-800	-840	-872	-776	-952	-1000	
ID Producto	1783															
Descripción producto	Tuerca															
Stock de seguridad	50															
Lead time	0															
Lote mínimo	0															
Lote múltiplo	1															
Inventario máximo	1000															
Coste (€/ud.)	2,00 €															
Coste lanzamiento (€/orden)	1,00 €															
Coste almacenamiento (€/C-semana)	0,03															
Día		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Necesidades brutas	80	6	24	0	280	256	262	266	96	200	112	80	176	0	0	
Inventario proyectado	300	230	224	200	200	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	
Recepciones programadas	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Recepciones netas	-180	-174	-150	-150	-130	-256	-262	-266	-96	-200	-112	-80	-176	0	0	
Recepciones planificadas	0	0	0	0	130	256	262	266	96	200	112	80	176	0	0	
Binaria recepción	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	
Numero entero múltiplo	0	0	0	0	130	256	262	266	96	200	112	80	176	0	0	
Lanzamientos planificados	0	0	0	0	130	256	262	266	96	200	112	80	176	0	0	
Dato binaria no recibir lotes	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
Restricción derecha lote mínimo	0	0	0	0	130	256	262	266	96	200	112	80	176	0	0	
Restricción izquierda lote mínimo	0	0	0	0	-870	-744	-738	-734	-504	-800	-888	-920	-824	0	0	
Restricción stock de seguridad	300	230	224	200	200	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	
Restricción lote múltiplo	0	0	0	0	130	256	262	266	96	200	112	80	176	0	0	
Restricción inventario máximo	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	
Restricción no recepción	-1000	-1000	-1000	-1000	-870	-744	-738	-734	-504	-800	-888	-920	-824	-1000	-1000	
ID Producto	2342															
Descripción producto	Aranazo															
Stock de seguridad	30															
Lead time	0															
Lote mínimo	0															
Lote múltiplo	1															
Inventario máximo	2000															
Coste (€/ud.)	0,40 €															
Coste lanzamiento (€/orden)	0,03 €															
Coste almacenamiento (€/C-semana)	0,06															
Día		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Necesidades brutas	44	6	24	0	280	256	262	242	96	184	160	64	160	0	0	
Inventario proyectado	300	276	280	256	256	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	
Recepciones programadas	20	30	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Recepciones netas	-246	-250	-226	-226	-54	-256	-262	-242	-96	-184	-160	-64	-160	0	0	
Recepciones planificadas	0	0	0	0	54	256	262	242	96	184	160	64	160	0	0	
Binaria recepción	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	
Numero entero múltiplo	0	0	0	0	54	256	262	242	96	184	160	64	160	0	0	
Lanzamientos planificados	0	0	0	0	54	256	262	242	96	184	160	64	160	0	0	
Dato binaria no recibir lotes	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
Restricción derecha lote mínimo	0	0	0	0	54	256	262	242	96	184	160	64	160	0	0	
Restricción izquierda lote mínimo	0	0	0	0	-946	-744	-738	-738	-504	-816	-840	-840	-840	0	0	
Restricción stock de seguridad	300	276	280	256	256	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	
Restricción lote múltiplo	0	0	0	0	54	256	262	242	96	184	160	64	160	0	0	
Restricción inventario máximo	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	
Restricción no recepción	-1000	-1000	-1000	-1000	-946	-744	-738	-738	-504	-816	-840	-840	-840	-1000	-1000	
ID Producto	2774															
Descripción producto	Placa cerámica															
Stock de seguridad	12															
Lead time	0															
Lote mínimo	0															
Lote múltiplo	1															
Inventario máximo	25															
Coste (€/ud.)	18,00 €															
Coste lanzamiento (€/orden)	1,00 €															
Coste almacenamiento (€/C-semana)	1,00															
Día		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Necesidades brutas	6	1	4	0	0	0	12	12	3	3	0	0	0	0	0	
Inventario proyectado	16	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	
Recepciones programadas	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Recepciones netas	0	0	4	0	0	0	0	12	9	3	3	0	0	0	0	
Recepciones planificadas	0	0	4	0	0	0	0	12	9	3	3	0	0	0	0	
Binaria recepción	0	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	
Numero entero múltiplo	0	0	4	0	0	0	0	12	9	3	3	0	0	0	0	
Lanzamientos planificados	0	0	4	0	0	0	0	12	9	3	3	0	0	0	0	
Dato binaria no recibir lotes	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
Restricción derecha lote mínimo	0	0	4	0	0	0	0	12	9	3	3	0	0	0	0	
Restricción izquierda lote mínimo	0	0	-996	0	0	0	0	-983	-997	0	-980	0	0	0	0	
Restricción stock de seguridad	16	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	
Restricción lote múltiplo	0	0	4	0	0	0	0	12	9	3	3	0	0	0	0	
Restricción inventario máximo	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	
Restricción no recepción	-1000	-1000	-996	-1000	-1000	-1000	-983	-997	-1000	-980	-1000	-1000	-1000	-1000	-1000	

Diseño e implantación de un sistema de Planificación de la Producción de una empresa fabricante de equipos para el sector farmacéutico, alimentario y cosmético

ID Producto	1313															
Descripción producto		Cerveza clásica														
Stock de seguridad	10															
Lead time	0															
Lote mínimo	1															
Lote múltiplo	1															
Inventario máximo	25															
Coste (€/ud)	30,00 €															
Coste lanzamiento (€/orden)	20,00 €															
Coste almacenamiento (€/€-semana)	2,00															
Día	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
Necesidades brutas	104	0	0	0	0	0	0	8	8	0	8	4	12	0	0	
Inventario proyectado	13	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	
Recepciones programadas	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Necesidades netas	99	0	0	0	0	0	0	8	8	0	8	4	12	0	0	
Recepciones planificadas	99	0	0	0	0	0	0	8	8	0	8	4	12	0	0	
Binaria recepción	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	1	1	0	0	
Numero entero múltiplo	99	0	0	0	0	0	0	8	8	0	8	4	12	0	0	
Lanzamientos planificados	99	0	0	0	0	0	0	8	8	0	8	4	12	0	0	
Dato binaria no recibir lotes	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
Restricción derecha lote mínimo	99	0	0	0	0	0	0	8	8	0	8	4	12	0	0	
Restricción izquierda lote mínimo	-901	0	0	0	0	0	0	-992	-992	0	-992	-996	-988	0	0	
Restricción stock de seguridad	13	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	
Restricción lote múltiplo	99	0	0	0	0	0	0	8	8	0	8	4	12	0	0	
Restricción inventario máximo	13	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	
Restricción en recepción	-901	-1000	-1000	-1000	-1000	-1000	-1000	-992	-992	-1000	-992	-996	-988	-1000	-1000	

ID Producto	1343															
Descripción producto		Bocá accesorio														
Stock de seguridad	3															
Lead time	0															
Lote mínimo	0															
Lote múltiplo	1															
Inventario máximo	25															
Coste (€/ud)	35,00 €															
Coste lanzamiento (€/orden)	25,00 €															
Coste almacenamiento (€/€-semana)	1,50															
Día	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
Necesidades brutas	13	0	0	0	0	0	0	2	2	0	2	1	3	0	0	
Inventario proyectado	15	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	
Recepciones programadas	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Necesidades netas	0	0	0	0	0	0	0	2	2	0	2	1	3	0	0	
Recepciones planificadas	0	0	0	0	0	0	0	2	2	0	2	1	3	0	0	
Binaria recepción	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	1	1	0	0	
Numero entero múltiplo	0	0	0	0	0	0	0	2	2	0	2	1	3	0	0	
Lanzamientos planificados	0	0	0	0	0	0	0	2	2	0	2	1	3	0	0	
Dato binaria no recibir lotes	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
Restricción derecha lote mínimo	0	0	0	0	0	0	0	2	2	0	2	1	3	0	0	
Restricción izquierda lote mínimo	0	0	0	0	0	0	0	-998	-998	0	-998	-999	-997	0	0	
Restricción stock de seguridad	15	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	
Restricción lote múltiplo	0	0	0	0	0	0	0	2	2	0	2	1	3	0	0	
Restricción inventario máximo	15	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	
Restricción en recepción	-1000	-1000	-1000	-1000	-1000	-1000	-1000	-998	-998	-1000	-998	-999	-997	-1000	-1000	

ID Producto	1443															
Descripción producto		Ruedin														
Stock de seguridad	2															
Lead time	0															
Lote mínimo	1															
Lote múltiplo	1															
Inventario máximo	25															
Coste (€/ud)	40,00 €															
Coste lanzamiento (€/orden)	20,00 €															
Coste almacenamiento (€/€-semana)	1,60															
Día	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
Necesidades brutas	18	0	0	0	0	0	0	12	0	8	8	8	8	0	0	
Inventario proyectado	17	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	
Recepciones programadas	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Necesidades netas	2	0	0	0	0	0	0	12	0	8	8	8	8	0	0	
Recepciones planificadas	2	0	0	0	0	0	0	12	0	8	8	8	8	0	0	
Binaria recepción	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	1	0	0	
Numero entero múltiplo	2	0	0	0	0	0	0	12	0	8	8	8	8	0	0	
Lanzamientos planificados	2	0	0	0	0	0	0	12	0	8	8	8	8	0	0	
Dato binaria no recibir lotes	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
Restricción derecha lote mínimo	2	0	0	0	0	0	0	12	0	8	8	8	8	0	0	
Restricción izquierda lote mínimo	-998	0	0	0	0	0	0	-988	0	-992	-992	-992	-992	0	0	
Restricción stock de seguridad	17	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	
Restricción lote múltiplo	2	0	0	0	0	0	0	12	0	8	8	8	8	0	0	
Restricción inventario máximo	17	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	
Restricción en recepción	-998	-1000	-1000	-1000	-1000	-1000	-1000	-988	-1000	-992	-992	-992	-992	-1000	-1000	

ID Producto	m111															
Descripción producto		Mezclador														
Stock de seguridad	0															
Lead time	0															
Lote mínimo	0															
Lote múltiplo	1															
Inventario máximo	25															
Coste (€/ud)	13,00 €															
Coste lanzamiento (€/orden)	12,00 €															
Coste almacenamiento (€/€-semana)	0,40															
Día	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
Necesidades brutas	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Inventario proyectado	19	20	20	20	20	20	20	20	18	16	16	14	13	10	10	
Recepciones programadas	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Necesidades netas	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Recepciones planificadas	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Binaria recepción	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Numero entero múltiplo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Lanzamientos planificados	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Dato binaria no recibir lotes	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
Restricción derecha lote mínimo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Restricción izquierda lote mínimo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Restricción stock de seguridad	19	20	20	20	20	20	20	20	18	16	16	14	13	10	10	
Restricción lote múltiplo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Restricción inventario máximo	19	20	20	20	20	20	20	20	18	16	16	14	13	10	10	
Restricción en recepción	-1000	-1000	-1000	-1000	-1000	-1000	-1000	-1000	-1000	-1000	-1000	-1000	-1000	-1000	-1000	

Diseño e implantación de un sistema de Planificación de la Producción de una empresa fabricante de equipos para el sector farmacéutico, alimentario y cosmético

ID Producto	1543															
Descripción producto	Boca															
Stock de seguridad	15															
Lead time	0															
Lote mínimo	0															
Lote múltiplo	1															
Inventario máximo	25															
Coste (€/u)	24,04 €															
Coste lanzamiento (€/orden)	25,00 €															
Coste almacenamiento (€/€-semana)	2,50															
Día		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Necesidades brutas		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Inventario proyectado	16	16	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
Recepciones programadas		1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Necesidades netas		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Recepciones planificadas		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Binaria recepción		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Numero entero múltiplo		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Lanzamientos planificados		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Dato binario no recibir lotes		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Restricción derecha lote mínimo		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Restricción izquierda lote mínimo		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Restricción stock de seguridad		16	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
Restricción lote múltiplo		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Restricción inventario máximo		16	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
Restricción no recepción		-1000	-1000	-1000	-1000	-1000	-1000	-1000	-1000	-1000	-1000	-1000	-1000	-1000	-1000	-1000

CRP

Periodo	F1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Deposito agua purificada	F1	0	0	0	2	3	1	1	0	1	2	2	0	1	0	0
Almacén de muestras	F2	0	0	0	0	2	4	3	2	3	1	1	1	1	1	2
Pasteurizador	A1	0	0	1	0	1	2	2	3	1	0	1	0	1	1	1
Fermentador de vino	A2	0	0	2	2	2	1	3	1	1	0	0	1	0	0	1
Mezclador de cremas	C1	0	1	0	1	0	2	0	0	1	0	0	1	1	1	1
Dosificadora	C2	0	0	0	1	2	2	1	0	1	0	1	1	1	1	0
Parte inferior 1	p121	0	0	0	0	5	0	5	0	5	0	5	0	5	0	0
Camisa	c783	2	0	4	4	6	4	4	2	2	4	0	2	0	0	0
Parte superior 1	p776	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	0	0	0	0
Cajón	c124	0	0	0	0	36	32	20	28	12	8	12	8	20	0	0
Cuerpo	c783	0	0	0	0	0	4	4	2	4	4	2	2	2	2	2
Base plana	p776	5	0	0	0	0	0	0	3	0	2	2	2	2	2	0
Parte superior 2	p778	10	1	1	0	0	0	0	2	2	0	2	1	3	0	0
Base rodante	g652	8	1	2	3	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Camisa básica	c784	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Caja contenedora	c125	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pata	p233	0	0	0	37	0	21	0	20	0	20	0	0	0	0	0
Base	b543	6	1	4	0	0	0	17	3	0	20	0	0	0	0	0
Fondo tipo 1	f478	13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Virola	v876	0	0	8	8	12	8	8	4	4	4	0	4	0	0	0
Lana roca	l112	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Visor	v555	0	0	0	4	6	4	4	2	2	4	0	2	0	0	0
Chapa pequeña	c997	24	0	0	0	144	128	80	112	48	32	48	32	80	0	0
Guía rodante	g652	0	0	0	0	70	64	40	56	24	16	24	16	40	0	0
Chapa mediana	c653	0	0	0	0	0	6	8	7	8	2	6	6	6	4	0
Rueda	r479	18	0	0	0	0	0	0	12	0	8	8	8	8	0	0
Fondo tipo 2	f479	0	0	0	0	0	0	0	2	2	0	2	1	3	0	0
Fondo tipo 3	f489	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Boca dosis	b651	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Tornillo	t333	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Tuerca	t789	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Arandela	a342	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Placa circular	p774	0	0	4	0	0	0	17	3	0	20	0	0	0	0	0
Conexión clamp	c123	99	0	0	0	0	0	0	8	8	0	8	4	12	0	0
Boca acceso	b143	0	0	0	0	0	0	0	2	2	0	2	1	3	0	0
Ruedín	r445	2	0	0	0	0	0	0	12	0	8	8	8	8	0	0
Mezclador	m315	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Boca	b545	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

	Sección	Alm. Mat P.	Torneado	Fresado	Plegado	Cilindrado	Montaje	Soldadura	Pulido	Alm. Pr. T.
Tempos de preparación	Deposito agua purificada	F1	0,02	0,04	0,04	0,03	0,00	0,05	0,00	0,00
	Almacén de muestras	F2	0,03	0,02	0,04	0,03	0,04	0,02	0,05	0,00
	Pasteurizador	A1	0,01	0,02	0,01	0,04	0,02	0,02	0,03	0,02
	Fermentador de vino	A2	0,04	0,05	0,01	0,04	0,03	0,01	0,00	0,02
	Mezclador de cremas	C1	0,02	0,01	0,04	0,05	0,05	0,02	0,04	0,01
	Dosificadora	C2	0,03	0,03	0,01	0,04	0,02	0,01	0,04	0,01
	Parte inferior 1	p121	0,05	0,02	0,01	0,00	0,02	0,02	0,01	0,02
	Camisa	c783	0,05	0,01	0,00	0,02	0,02	0,02	0,04	0,04
	Parte superior 1	p776	0,05	0,01	0,02	0,00	0,05	0,01	0,04	0,04
	Cajón	c124	0,04	0,05	0,03	0,04	0,03	0,02	0,01	0,01
	Cuerpo	c783	0,02	0,01	0,03	0,04	0,01	0,03	0,02	0,02
	Base plana	p776	0,02	0,02	0,03	0,00	0,04	0,05	0,02	0,03
	Parte superior 2	p778	0,02	0,01	0,05	0,02	0,01	0,01	0,03	0,04
	Parte inferior 2	p122	0,01	0,04	0,04	0,02	0,02	0,01	0,01	0,02
	Camisa básica	c784	0,02	0,03	0,05	0,02	0,02	0,05	0,02	0,03
	Caja contenedora	c125	0,04	0,02	0,02	0,01	0,01	0,04	0,01	0,01
	Pata	p233	0,04	0,04	0,04	0,04	0,01	0,03	0,01	0,01
	Base	b543	0,02	0,02	0,01	0,03	0,05	0,02	0,01	0,03
	Fondo tipo 1	f478	0,02	0,03	0,00	0,05	0,00	0,01	0,04	0,00
	Virola	v876	0,03	0,03	0,01	0,04	0,04	0,03	0,03	0,01
	Lana roca	l112	0,05	0,03	0,03	0,01	0,03	0,01	0,02	0,03
	Visor	v555	0,04	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,04	0,04
	Chapa pequeña	c997	0,04	0,02	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,02
	Guía rodante	g652	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,04	0,05	0,01
	Chapa mediana	c653	0,04	0,03	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,02
	Rueda	r479	0,03	0,01	0,04	0,04	0,02	0,01	0,02	0,01
	Fondo tipo 2	f479	0,04	0,05	0,00	0,02	0,05	0,00	0,01	0,03
	Fondo tipo 3	f489	0,04	0,02	0,02	0,05	0,03	0,00	0,03	0,03
Boca dosis	b651	0,02	0,02	0,01	0,03	0,02	0,04	0,03	0,02	
Tornillo	t333	0,02	0,02	0,02	0,02	0,04	0,01	0,01	0,01	
Tuerca	t789	0,04	0,04	0,04	0,05	0,03	0,01	0,02	0,05	
Arandela	a342	0,01	0,04	0,03	0,03	0,04	0,02	0,01	0,02	
Placa circular	p774	0,04	0,02	0,04	0,02	0,04	0,05	0,00	0,02	
Conexión clamp	c123	0,04	0,01	0,04	0,02	0,04	0,02	0,01	0,04	
Boca acceso	b143	0,01	0,02	0,01	0,02	0,02	0,01	0,05	0,04	
Ruedín	r445	0,02	0,02	0,01	0,02	0,02	0,03	0,04	0,01	
Mezclador	m315	0,01	0,04	0,01	0,02	0,01	0,04	0,03	0,04	
Boca	b545	0,01	0,01	0,00	0,05	0,02	0,01	0,02	0,01	





Diseño e implantación de un sistema de Planificación de la Producción de una empresa fabricante de equipos para el sector farmacéutico, alimentario y cosmético



## 9. Código de Matlab del algoritmo para el Programa de Producción.

```
%----- Algoritmo heurístico resolución Programa de Producción Taller General Flexible -----
```

### OBTENER DATOS DEL SISTEMA

```
% Leer datos del excel
regla=readmatrix('V9_EXCEL_PLAN_PRODUCCION_TFM_DO.xlsx','Sheet','Auxiliar Prog. Prod','Range','AJ105:AJ105');
tiempo_desplazamiento_entre_maquinas=readmatrix('V9_EXCEL_PLAN_PRODUCCION_TFM_DO.xlsx','Sheet','Auxiliar Prog. Prod','Range','AJ106:AJ106');
Datos_taller=readmatrix('V9_EXCEL_PLAN_PRODUCCION_TFM_DO.xlsx','Sheet','Auxiliar Prog. Prod','Range','AT107:AX225');
Datos_OF=readmatrix('V9_EXCEL_PLAN_PRODUCCION_TFM_DO.xlsx','Sheet','Auxiliar Prog. Prod','Range','L109:AC128');

%-----

% Número de órdenes de fabricación existentes.
num_OF=0;
for i=1:length(Datos_OF(:,1))
    if Datos_OF(i,1)~=0
        num_OF=num_OF+1;
    end
end

%-----

% Número de operaciones necesarias para cada orden de fabricación.
num_OPER=zeros(num_OF,1);
for i=1:num_OF
    for j=0:(length(Datos_OF(1,:))/2-3)
        if Datos_OF(i,4+2*j)~=0
            num_OPER(i)=num_OPER(i)+1;
        end
    end
end

%-----

% Tiempos de operación de cada orden de fabricación.
Tiempos_operaciones=zeros(num_OF,max(num_OPER));
for i=1:num_OF
    for j=0:(length(Datos_OF(1,:))/2-3)
        if Datos_OF(i,4+2*j)~=0
            Tiempos_operaciones(i,j+1)=Datos_OF(i,4+2*j);
        end
    end
end

%-----

% Secciones por las que ha de pasar cada orden de fabricación.
Tipo_operaciones=zeros(num_OF,max(num_OPER)+1);
for i=1:num_OF
    for j=0:(length(Datos_OF(1,:))/2-3)
        if Datos_OF(i,4+2*j)~=0
            Tipo_operaciones(i,j+1)=Datos_OF(i,3+2*j);
        end
    end
end
```

```
end

%-----

% Tiempos más tempranos de proceso de las órdenes de fabricación.
ri=zeros(num_OF,1);
for i=1:num_OF
    ri(i)=Datos_OF(i,length(Datos_OF(1,:))-1);
end

%-----

% Fechas de entrega de cada orden de fabricación.
di=zeros(num_OF,1);
for i=1:num_OF
    di(i)=Datos_OF(i,length(Datos_OF(1,:)));
end

%-----

% Número de máquinas en total.
num_Maq=0;
for i=1:length(Datos_taller(:,4))
    if (isnan(Datos_taller(i,4))==0 && Datos_taller(i,4)~=0)
        num_Maq=num_Maq+1;
    end
end

%-----

% Tiempos más tempranos de disponibilidad de cada máquina.
fj=zeros(num_Maq,1);
for i=1:length(Datos_taller(:,4))
    if (isnan(Datos_taller(i,4))==0 && Datos_taller(i,4)~=0)
        fj(Datos_taller(i,4))=Datos_taller(i,5);
    end
end

%-----

% Vector fpj de las máquinas.
fpj=10000*ones(num_Maq,1);

%-----

% Número de tipos de secciones en total.
num_tipos_oper=0;
for i=0:11
    if (isnan(Datos_taller(2+10*i,2))==0 && Datos_taller(2+10*i,2)~=0)
        num_tipos_oper=num_tipos_oper+1;
    end
end

%-----

% Máquinas en cada una de las secciones.
Maquinas_por_tipo_operacion=zeros(num_tipos_oper,50);
for i=0:11
    if (isnan(Datos_taller(2+10*i,2))==0 && Datos_taller(2+10*i,2)~=0) %% ESTA
LÍNEA NO SÉ SI ESTÁ BIEN
        cont=0;
        seguir=1;
        while seguir
            if Datos_taller(4+10*i+cont,4)~=0
```

```
Maquinas_por_tipo_operacion(Datos_taller(2+10*i,2),cont+1)=Datos_taller(4+10*i+cont,4);
    end
    cont=cont+1;
    if Datos_taller(4+10*i+cont,4)==0
        seguir=0;
    end
end
end
end

%-----

% Tablas de desarrollo del algoritmo.
Tablas_maquinas_algoritmo=10000*ones(num_OF,11,num_Maq);

%-----

% Contador de número de operaciones en espera en cada máquina.
contador=zeros(num_Maq,1);

%-----

% Secuencia de cada OF en cada máquina.
secuencia_OF_en_cada_maquina=zeros(num_Maq,num_OF);

%-----
```

## ALGORITMO DE PROGRAMACIÓN DE LA PRODUCCIÓN

```
% Inicializar todas las tablas con la primera operación.
for k=1:num_OF

    % Máquinas con las que se puede hacer la primera operación de la OF k.
    aux=Maquinas_por_tipo_operacion(Tipo_operaciones(k,1),:);
    aux=nonzeros(aux);

    %-----

    % Posición del vector aux con la máquina de la sección de la primera
    operación que tenga menor número de OF asignadas.
    [valor,posicion]=min(contador(aux));
    maquina_asignada=aux(posicion); % Asigno la máquina con menor número de OF
    asignadas.

    %-----

    % Si se asignan varias máquinas por tener el mismo número de OF en espera,
    se elige la primera de ellas.
    if length(maquina_asignada)>1
        maquina_asignada=maquina_asignada(1);
    end

    %-----

    % Rellenar las tablas de algoritmo con las operaciones iniciales.
    Tablas_maquinas_algoritmo(1+contador(maquina_asignada),1,maquina_asignada)=k;
    Tablas_maquinas_algoritmo(1+contador(maquina_asignada),2,maquina_asignada)=1;
    Tablas_maquinas_algoritmo(1+contador(maquina_asignada),3,maquina_asignada)=di(k);
```

```

Tablas_maquinas_algoritmo(1+contador(maquina_asignada),4,maquina_asignada)=Tiempos_
operaciones(k,1);

Tablas_maquinas_algoritmo(1+contador(maquina_asignada),5,maquina_asignada)=ri(k);

Tablas_maquinas_algoritmo(1+contador(maquina_asignada),6,maquina_asignada)=max(fj(maquina_asignada),ri(k));

%-----

% Se documenta que hay una OF más programada en la máquina asignada.
contador(maquina_asignada)=contador(maquina_asignada)+1;
end

%-----

% Cálculo inicial de fpj de las máquinas.
for i=1:num_Maq
    fpj(i)=min(Tablas_maquinas_algoritmo(:,6,i));
end

%-----

% Contador del n° de operaciones finalizadas de cada OF.
contador_operacion_OF=ones(num_OF,1);

%-----

% Contador del orden de operación en cada máquina.
contador_orden_en_maquinas=ones(num_Maq,1);

%-----

% Bucle general del algoritmo. El bucle cuenta hasta el número total de operaciones
de todas las OF.
for y=1:length(find(Tipo_operaciones~=0))

    % Se obtiene el número de máquina con menor fpj.
    [valor,maquina_menor_fpj]=min(fpj);
    cont_aux=1;

    %-----

    % Obtener las OF dentro de la máquina con menos fpj que cumplen que rpi<=fpj.
    for p=1:contador(maquina_menor_fpj)

        if Tablas_maquinas_algoritmo(p,6,maquina_menor_fpj)<=fpj(maquina_menor_fpj)

Tabla_auxiliar(cont_aux,:)=Tablas_maquinas_algoritmo(p,:,maquina_menor_fpj);
            cont_aux=cont_aux+1;
        end

    end

    %-----

    % De todas las OF candidatas a escogerse, se aplica la regla definida al
principio.
    switch regla
        case 1 %Regla SOT
            [valor,posicion_OF_a_secuenciar]=min(Tabla_auxiliar(:,4));
        case 2 %Regla EDD
            [valor,posicion_OF_a_secuenciar]=min(Tabla_auxiliar(:,3));
        case 3 %Regla MS

```

```
[valor,posicion_OF_a_secuenciar]=min(Tabla_auxiliar(:,3)-
Tabla_auxiliar(:,5));
end

Tabla_auxiliar_2=Tabla_auxiliar(posicion_OF_a_secuenciar,:);
posicion_OF_en_tabla_maquinas_algoritmo=find(Tablas_maquinas_algoritmo(:,1,maquina_
menor_fpj)==Tabla_auxiliar_2(1,1));
clear Tabla_auxiliar
clear Tabla_auxiliar2

%-----

% Se rellena la fila de la tabla de la máquina actual con menos fpj.
Tablas_maquinas_algoritmo(posicion_OF_en_tabla_maquinas_algoritmo,7,maquina_menor_f
pj)=...
Tablas_maquinas_algoritmo(posicion_OF_en_tabla_maquinas_algoritmo,4,maquina_menor_f
pj);

Tablas_maquinas_algoritmo(posicion_OF_en_tabla_maquinas_algoritmo,8,maquina_menor_f
pj)=...
contador_orden_en_maquinas(maquina_menor_fpj);

secuencia_OF_en_cada_maquina(maquina_menor_fpj,contador_orden_en_maquinas(maquina_m
enor_fpj))=...
Tablas_maquinas_algoritmo(posicion_OF_en_tabla_maquinas_algoritmo,1,maquina_menor_f
pj);

contador_orden_en_maquinas(maquina_menor_fpj)=contador_orden_en_maquinas(maquina_m
enor_fpj)+1;

Tablas_maquinas_algoritmo(posicion_OF_en_tabla_maquinas_algoritmo,9,maquina_menor_f
pj)=...
Tablas_maquinas_algoritmo(posicion_OF_en_tabla_maquinas_algoritmo,6,maquina_menor_f
pj);

Tablas_maquinas_algoritmo(posicion_OF_en_tabla_maquinas_algoritmo,10,maquina_menor_
fpj)=...
Tablas_maquinas_algoritmo(posicion_OF_en_tabla_maquinas_algoritmo,9,maquina_menor_f
pj)+...
Tablas_maquinas_algoritmo(posicion_OF_en_tabla_maquinas_algoritmo,4,maquina_menor_f
pj);

%-----

% Ver cuál es la operación (sección) siguiente de la OF programada.
tipo_oper_siguiente=Tipo_operaciones(Tablas_maquinas_algoritmo(posicion_OF_en_tabla_
_maquinas_algoritmo,1,maquina_menor_fpj), ...

contador_operacion_OF(Tablas_maquinas_algoritmo(posicion_OF_en_tabla_maquinas_algor
itmo,1,maquina_menor_fpj))+1);

%-----

% Si no hay operación siguiente, no se escribe la OF que se acaba de
% secuenciar en la siguiente máquina (porque no hay siguiente máquina).
if tipo_oper_siguiente~=0

% En este bucle siguiente se elige de entre todas las máquinas de la
% sección siguiente, aquella que tiene la suma menor de tipos de procesado
pendientes.
tiempo_restante_procesos_ini=20000;
for g=1:length(Maquinas_por_tipo_operacion(tipo_oper_siguiente,:))
if Maquinas_por_tipo_operacion(tipo_oper_siguiente,g)~=0
```

```

tiempo_restante_procesos=sum(Tablas_maquinas_algoritmo(1:contador(Maquinas_por_tipo_
_operacion(tipo_oper_siguiente,g)),4,Maquinas_por_tipo_operacion(tipo_oper_siguient
e,g)));
    if tiempo_restante_procesos<tiempo_restante_procesos_ini
        maq_sig=Maquinas_por_tipo_operacion(tipo_oper_siguiente,g);
        tiempo_restante_procesos_ini=tiempo_restante_procesos;
    end
end
end

%-----

% Rellenar el número de máquina siguiente para la OF secuenciada.
Tablas_maquinas_algoritmo(posicion_OF_en_tabla_maquinas_algoritmo,11,maquina_menor_
fpj)=maq_sig;
numero_maquina_siguiente=Tablas_maquinas_algoritmo(posicion_OF_en_tabla_maquinas_al
goritmo,11,maquina_menor_fpj);

%-----

% Sumar una unidad al contador de operaciones realizadas de la OF secuenciada.
contador_operacion_OF(Tablas_maquinas_algoritmo(posicion_OF_en_tabla_maquinas_algor
itmo,1,maquina_menor_fpj))=...
contador_operacion_OF(Tablas_maquinas_algoritmo(posicion_OF_en_tabla_maquinas_algor
itmo,1,maquina_menor_fpj))+1;

%-----

% OF a escribir en la siguiente máquina.
OF_a_secuenciar=Tablas_maquinas_algoritmo(posicion_OF_en_tabla_maquinas_algoritmo,1
,maquina_menor_fpj);
Tablas_maquinas_algoritmo(contador(numero_maquina_siguiente)+1,1,numero_maquina_sig
uiente)=OF_a_secuenciar;

%-----

% Se rellena la fila en la máquina siguiente con los datos de la OF que se acaba de
secuenciar.
Tablas_maquinas_algoritmo(contador(numero_maquina_siguiente)+1,2,numero_maquina_sig
uiente)=contador_operacion_OF(OF_a_secuenciar);
Tablas_maquinas_algoritmo(contador(numero_maquina_siguiente)+1,3,numero_maquina_sig
uiente)=di(OF_a_secuenciar);
Tablas_maquinas_algoritmo(contador(numero_maquina_siguiente)+1,4,numero_maquina_sig
uiente)=...
Tiempos_operaciones(OF_a_secuenciar,contador_operacion_OF(OF_a_secuenciar));
Tablas_maquinas_algoritmo(contador(numero_maquina_siguiente)+1,5,numero_maquina_sig
uiente)=...
Tablas_maquinas_algoritmo(posicion_OF_en_tabla_maquinas_algoritmo,10,maquina_menor_
fpj)+tiempo_desplazamiento_entre_maquinas;
Tablas_maquinas_algoritmo(contador(numero_maquina_siguiente)+1,6,numero_maquina_sig
uiente)=...
max(Tablas_maquinas_algoritmo(contador(numero_maquina_siguiente)+1,5,numero_maquina
_siguiente),fj(numero_maquina_siguiente));

%-----

% Se actualiza el fpj de la máquina siguiente.
fpj(numero_maquina_siguiente)=min(Tablas_maquinas_algoritmo(:,6,numero_maquina_sigu
iente));

%-----

% Se cuenta la nueva OF en espera en la máquina siguiente.
contador(numero_maquina_siguiente)=contador(numero_maquina_siguiente)+1;
end

```

```
%-----  
  
% Se actualiza el fj de la máquina secuenciada.  
fj(maquina_menor_fpj)=Tablas_maquinas_algoritmo(posicion_OF_en_tabla_maquinas_algoritmo,10,maquina_menor_fpj);  
  
%-----  
  
% Se asigna el valor 10000 como ri de la OF secuenciada en la máquina secuenciada para impedir que se asigne de nuevo esa OF en esa máquina.  
Tablas_maquinas_algoritmo(posicion_OF_en_tabla_maquinas_algoritmo,5,maquina_menor_fpj)=10000;  
  
%-----  
  
% Se actualizan los rpi de las OF de la máquina ya secuenciada.  
for g=1:contador(maquina_menor_fpj)  
  
Tablas_maquinas_algoritmo(g,6,maquina_menor_fpj)=max(Tablas_maquinas_algoritmo(g,5,maquina_menor_fpj),fj(maquina_menor_fpj));  
end  
  
%-----  
  
% Se actualiza el fpj de la máquina ya secuenciada.  
fpj(maquina_menor_fpj)=min(Tablas_maquinas_algoritmo(:,6,maquina_menor_fpj));  
end  
  
%-----
```

## ESCRIBIR RESULTADOS EN EL SISTEMA

```
% Creación tabla de datos para introducir en Excel y representar el diagrama de Gantt.  
Tabla_Gannt_OF=zeros(num_Maq,2,num_OF);  
for i=1:num_OF  
    for j=1:num_Maq  
        for k=1:contador(j)  
            if Tablas_maquinas_algoritmo(k,1,j)==i  
                Tabla_Gannt_OF(j,1,i)=Tablas_maquinas_algoritmo(k,9,j);  
                Tabla_Gannt_OF(j,2,i)=Tablas_maquinas_algoritmo(k,10,j)-  
Tablas_maquinas_algoritmo(k,9,j);  
            end  
        end  
    end  
end  
  
%-----  
  
% Escribir resultados en el Sistema general  
for h=1:num_OF  
    switch h  
        case 1  
writematrix(Tabla_Gannt_OF(:, :, 1), 'V9_EXCEL_PLAN_PRODUCCION_TFM_DO.xlsx', 'Sheet', 'Auxiliar Gantt', 'Range', 'B4:C33');  
        case 2  
writematrix(Tabla_Gannt_OF(:, :, 2), 'V9_EXCEL_PLAN_PRODUCCION_TFM_DO.xlsx', 'Sheet', 'Auxiliar Gantt', 'Range', 'F4:G33');  
        case 3  
writematrix(Tabla_Gannt_OF(:, :, 3), 'V9_EXCEL_PLAN_PRODUCCION_TFM_DO.xlsx', 'Sheet', 'Auxiliar Gantt', 'Range', 'J4:K33');  
        case 4
```

```
writematrix(Tabla_Gannt_OF(:, :, 4), 'V9_EXCEL_PLAN_PRODUCCION_TFM_DO.xlsx', 'Sheet', 'Auxiliar Gantt', 'Range', 'N4:O33');
    case 5
writematrix(Tabla_Gannt_OF(:, :, 5), 'V9_EXCEL_PLAN_PRODUCCION_TFM_DO.xlsx', 'Sheet', 'Auxiliar Gantt', 'Range', 'R4:S33');
    case 6
writematrix(Tabla_Gannt_OF(:, :, 6), 'V9_EXCEL_PLAN_PRODUCCION_TFM_DO.xlsx', 'Sheet', 'Auxiliar Gantt', 'Range', 'V4:W33');
    case 7
writematrix(Tabla_Gannt_OF(:, :, 7), 'V9_EXCEL_PLAN_PRODUCCION_TFM_DO.xlsx', 'Sheet', 'Auxiliar Gantt', 'Range', 'Z4:AA33');
    case 8
writematrix(Tabla_Gannt_OF(:, :, 8), 'V9_EXCEL_PLAN_PRODUCCION_TFM_DO.xlsx', 'Sheet', 'Auxiliar Gantt', 'Range', 'AD4:AE33');
    case 9
writematrix(Tabla_Gannt_OF(:, :, 9), 'V9_EXCEL_PLAN_PRODUCCION_TFM_DO.xlsx', 'Sheet', 'Auxiliar Gantt', 'Range', 'AH4:AI33');
    case 10
writematrix(Tabla_Gannt_OF(:, :, 10), 'V9_EXCEL_PLAN_PRODUCCION_TFM_DO.xlsx', 'Sheet', 'Auxiliar Gantt', 'Range', 'AL4:AM33');
    case 11
writematrix(Tabla_Gannt_OF(:, :, 11), 'V9_EXCEL_PLAN_PRODUCCION_TFM_DO.xlsx', 'Sheet', 'Auxiliar Gantt', 'Range', 'AP4:AQ33');
    case 12
writematrix(Tabla_Gannt_OF(:, :, 12), 'V9_EXCEL_PLAN_PRODUCCION_TFM_DO.xlsx', 'Sheet', 'Auxiliar Gantt', 'Range', 'AT4:AU33');
    case 13
writematrix(Tabla_Gannt_OF(:, :, 13), 'V9_EXCEL_PLAN_PRODUCCION_TFM_DO.xlsx', 'Sheet', 'Auxiliar Gantt', 'Range', 'AX4:AY33');
    case 14
writematrix(Tabla_Gannt_OF(:, :, 14), 'V9_EXCEL_PLAN_PRODUCCION_TFM_DO.xlsx', 'Sheet', 'Auxiliar Gantt', 'Range', 'BB4:BC33');
    case 15
writematrix(Tabla_Gannt_OF(:, :, 15), 'V9_EXCEL_PLAN_PRODUCCION_TFM_DO.xlsx', 'Sheet', 'Auxiliar Gantt', 'Range', 'BF4:BG33');
    case 16
writematrix(Tabla_Gannt_OF(:, :, 16), 'V9_EXCEL_PLAN_PRODUCCION_TFM_DO.xlsx', 'Sheet', 'Auxiliar Gantt', 'Range', 'BJ4:BK33');
    case 17
writematrix(Tabla_Gannt_OF(:, :, 17), 'V9_EXCEL_PLAN_PRODUCCION_TFM_DO.xlsx', 'Sheet', 'Auxiliar Gantt', 'Range', 'BN4:BO33');
    case 18
writematrix(Tabla_Gannt_OF(:, :, 18), 'V9_EXCEL_PLAN_PRODUCCION_TFM_DO.xlsx', 'Sheet', 'Auxiliar Gantt', 'Range', 'BR4:BS33');
    case 19
writematrix(Tabla_Gannt_OF(:, :, 19), 'V9_EXCEL_PLAN_PRODUCCION_TFM_DO.xlsx', 'Sheet', 'Auxiliar Gantt', 'Range', 'BV4:BW33');
    case 20
writematrix(Tabla_Gannt_OF(:, :, 20), 'V9_EXCEL_PLAN_PRODUCCION_TFM_DO.xlsx', 'Sheet', 'Auxiliar Gantt', 'Range', 'BZ4:CA33');
end
end
```

## CAPÍTULO 2. RESUMEN DE INFORMACIÓN DE LOS ODS

Objetivos de Desarrollo Sostenible	Alto	Medio	Bajo	No Procede
ODS 1. Fin de la pobreza.				X
ODS 2. Hambre cero.				X
ODS 3. Salud y bienestar.				X
ODS 4. Educación de calidad.				X
ODS 5. Igualdad de género.				X
ODS 6. Agua limpia y saneamiento.				X
ODS 7. Energía asequible y no contaminante.				X
ODS 8. Trabajo decente y crecimiento económico.	X			
ODS 9. Industria, innovación e infraestructuras.	X			
ODS 10. Reducción de las desigualdades.				X
ODS 11. Ciudades y comunidades sostenibles.	X			
ODS 12. Producción y consumo responsables.		X		
ODS 13. Acción por el clima.				X
ODS 14. Vida submarina.				X
ODS 15. Vida de ecosistemas terrestres.				X
ODS 16. Paz, justicia e instituciones sólidas.				X
ODS 17. Alianzas para lograr objetivos.				X

Tabla 63. Resumen de información de los ODS.