



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño

# UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño

---

## PLANIFICACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DEL VALAQ PATROL

*TRABAJO FINAL DEL*

**Máster U. en Diseño y Fabricación Integrada Asistidos por Computador**



*REALIZADO POR*

**Lucas Miquel Conchillo**

*TUTORIZADO POR*

**Luis Zanón Martínez**

**Lorenzo Solano García**

**CURSO ACADÉMICO: 2020/2021**

# Resumen

El presente documento tiene como meta contribuir a la industrialización de un producto tipo dron en el marco de una pequeña empresa. Para situar en contexto al lector, en primer lugar es necesario definir dos conceptos.

Un plan de producción es un conjunto de documentos que definen todos los pasos y tareas que deben ser llevados a cabo para transformar una serie de materias primas en el producto final deseado. Estas tareas abarcan el aprovisionamiento, la definición y orden de operaciones, las tareas de limpieza, los controles de calidad, las medidas correctoras, etc. La complejidad y extensión de un plan de producción está adaptada al tipo de producto que se desee fabricar y cómo se realice esa fabricación. En esencia un plan de producción toma en consideración todas las necesidades que tiene un producto (materiales, personal, maquinaria, tiempo, etc.) y las organiza para poder obtener productos finales.

La planificación de la producción es la actividad que establece cómo debe estar constituido el plan de producción. La planificación establece entre otras cosas el alcance del plan de producción (cuantas necesidades se tienen en cuenta y cómo), los sistemas de gestión de la información (que herramientas se utilizan para definir las instrucciones proporcionadas por el plan de producción), que criterios de control de calidad se consideran suficientes y apropiados, que capacidad de producción está disponible y posibles métodos de aumentarla o que sistema de gestión de inventario se utiliza, con qué proveedores se trabaja, etc. Podría definirse el plan de producción como una herramienta de transformación y la planificación de la producción como los criterios y directrices que se utilizan para crear dicha herramienta. Por lo tanto, el plan de producción es el resultado de la planificación de la producción.

En esencia el presente TFM puede dividirse en dos bloques de trabajo, la arquitectura de la gestión de la información para la planificación de la producción y el algoritmo de planificación de la producción. La arquitectura de la gestión de la información para la planificación de la producción consiste en la definición de la estructura documental que contiene todos los datos referentes a la planificación de la producción y que son empleados en la elaboración del plan de producción. En otras palabras, consiste en la definición de un listado de documentos, los contenidos que deben abarcar y sus interrelaciones con el resto de documentos. Se busca un ámbito de aplicabilidad general por lo que la definición de dichos documentos se realiza de forma genérica, es decir, se crean los contenedores de información y sus métodos de entrada/salida de datos sin particularizar el contenido. Por otro lado, el algoritmo de planificación de la producción toma como entrada los datos contenidos en dichos documentos y los procesa y ordena para generar el plan de producción de forma automática. Dicho de otro modo, es un algoritmo cuyas entradas son la disponibilidad de materiales, maquinaria y mano de obra, la cantidad de unidades solicitadas y la interrelación entre los diferentes procesos que deben ser llevados a cabo y cuyas salidas son los calendarios y programaciones que indican qué operario, cuándo, en qué espacio y en qué orden deben realizarse cada uno de los procesos para poder obtener la cantidad de producto final deseado.

# Índice

<b>1. Justificación del TFM</b>	<b>4</b>
<b>2. Objetivos</b>	<b>4</b>
<b>3. Alcance y exclusiones</b>	<b>6</b>
<b>4. Memoria</b>	<b>7</b>
4.1. Análisis del producto	7
4.2. Particularización de los preceptos de lean manufacturing	9
4.3. Procesos de una empresa	13
4.3.1. Plan de procesos	14
4.3.2. Estado actual de los recursos	17
4.4. Contenidos de la planificación de la producción	18
4.4.1. Alcance y revisión	18
4.4.2. Sistema productivo	18
4.4.3. Calidad y mejora continuada	19
4.4.4. Sistema de gestión de la información	22
4.4.5. Volumen de producción	23
4.4.6. Stock mínimo de seguridad	24
4.4.7. Búsqueda de proveedores	24
4.5. Estandarización de procesos	25
4.6. Gestión de la información de la producción	30
4.6.1. Plan Maestro	32
4.6.2. Planificación y control de inventario	34
4.6.3. Programación de las operaciones	34
4.6.4. Instrucciones de fabricación	35
4.6.5. Planificación capacidades productivas	36
4.6.6. Proceso	37
4.7. Algoritmo de planificación de la producción	39
4.7.1. Sistema	39
4.7.2. Funcionamiento	39
<b>5. Conclusiones</b>	<b>48</b>
<b>6. Valoración Económica</b>	<b>49</b>
<b>7. Bibliografía</b>	<b>51</b>
<b>8. ANEXO I: Simbología diagramas de flujo</b>	<b>52</b>
<b>9. ANEXO II: Mejoras en el algoritmo de planificación de la producción</b>	<b>53</b>

# 1. Justificación del TFM

El presente TFM aplica los conocimientos obtenidos en el máster para la industrialización ad hoc de un producto, específicamente de un dron tipo ala volante de despegue vertical. El proyecto se realiza en colaboración con la empresa UAV Works Group, una micro start-up con cinco socios.

Actualmente el diseño del producto está congelado y se han definido las listas de materiales y operaciones necesarias para la fabricación. No obstante, no existe ningún tipo de industrialización ni preparación para la producción. Hasta la fecha se han realizado varios prototipos de forma totalmente manual aprovechando el *know-how* de tres de sus socios. Este sistema es muy ineficiente pues se compran componentes y se realizan las operaciones cuando se consideran necesarias sin ningún tipo de previsión y/o control, además de que la falta de documentación y organización impide la contratación de mano de obra. Esa inestabilidad en la producción impide la coordinación de la fabricación simultánea de varias unidades y, por lo tanto, el establecimiento de plazos de entrega correctamente delimitados.

Por otro lado, los recursos económicos de la empresa son extremadamente reducidos y están dedicados en su mayoría a la comercialización y captación de clientes por lo que no se dispone de presupuesto para la contratación de personal y/o la adquisición de software específico de control de procesos. Por último, al tener totalmente congelado el diseño se han liberado recursos humanos con formación técnica en el control de procesos que pueden dedicar sus horas de trabajo al diseño e implementación de la gestión de la información de la planificación de la producción.

El reto, por lo tanto, consiste en diseñar de cero y utilizando herramientas digitales de bajo coste una estructura de gestión de la información que permita la planificación de la producción de la forma más automatizada posible. Esta automatización significa que la información referente al plan de procesos (calendarios, programación de actividades, consumo de recursos, etc.) debe generarse automáticamente teniendo en cuenta las variables de entrada como la mano de obra disponible, las herramientas disponibles o el número de unidades solicitadas. Con ello se obtiene una herramienta de simulación que establece rápidamente las variaciones en el plan de producción en función de la modificación de las variables de entrada, por ejemplo, cómo varían los tiempos de fabricación al aumentar el número de operarios, externalizar procesos o aumentar el número de estaciones de trabajo. Esta herramienta es indispensable ya que gran parte de los clientes potenciales son las administraciones públicas del estado cuyas licitaciones tienen tiempos y necesidades no negociables. Por lo tanto, es necesario establecer qué modificaciones sería pertinente realizar en la planta productiva para asegurar el cumplimiento de los plazos de entrega.

## 2. Objetivos

### Objetivo general

Establecer un sistema de gestión de la información para la planificación de la producción en una empresa con un sistema de producción bajo pedido y con lotes de producción pequeños.

### Objetivos particulares

El sistema de gestión de la información debe incluir los siguientes elementos y/o características:

1. Que pueda ser implementado y operado por personal no formado.
2. Que el coste económico de implementación y utilización sea bajo.
3. Que tenga una estructura modular que permite modificaciones parciales o ampliaciones.
4. Que contemple los preceptos de *lean manufacturing*.
5. Que pueda aplicarse a otros productos similares.
6. Que incluya una herramienta capaz de generar automáticamente planes de producción.

### 3. Alcance y exclusiones

El alcance de este proyecto es establecer un sistema de gestión de la información que considere de forma general toda la información pertinente a la producción y que establezca automáticamente el plan de proceso apropiado. Para ello se utilizan lenguaje y relaciones de alto nivel, sin entrar en el detalle de la definición de procesos concretos ni sus *features*. De ese modo esta planificación sería aplicable a cualquier producto que cumpla una serie de condiciones específicas, como que sus procesos puedan ser definidos usando el modelo de procesos estandarizados que se expondrá en apartados posteriores. Este alcance es también aplicable a los documentos de gestión de la información; a lo largo del presente TFM se muestra cómo se debe organizar la documentación y qué información debe contener a nivel conceptual sin mostrar en detalle el documento en cuestión. Sin embargo para comprobar la validez del plan de producción es necesario suministrar una serie de entradas al sistema, dicha información se extraerá de la lista de materiales y de procesos de un producto específico de la compañía, el VALAQ 120 PATROL.

Al ser una planificación de carácter general sólo se utiliza la particularización del producto mínima necesaria para su validación. Por lo tanto, se excluye del proyecto la definición específica de cada proceso de fabricación pues podría resultar en un exceso de información que no aporta al concepto del proyecto. Por el mismo motivo tampoco se incluye la lista completa de materiales, fungibles y componentes. Las necesidades de suministros (luz y agua) tampoco se especifican en este punto de la planificación pero se deja la puerta abierta para tenerlas en cuenta en el futuro.

Debido a lo incipiente del mercado y a que el producto se encuentra en fase de lanzamiento y todavía no se ha asentado no se tienen en cuenta las estimaciones de ventas a la hora de realizar la planificación de la producción.

## 4. Memoria

### 4.1. Análisis del producto

El VALAQ 120 PATROL es una aeronave eléctrica no tripulada de despegue vertical equipada con una cámara de vigilancia teleoperada. Se trata de una aeronave de tipo ala volante "tail sitter", esto quiere decir que despegue y aterriza sobre la parte posterior pero no tiene cola. Realiza la maniobra de despegue en modo multicóptero utilizando sus cuatro motores para generar el empuje y el control, después realiza una transición en vuelo hasta alcanzar la configuración de ala volante en la que realiza la operación. Una vez finalizada su operación aterriza en modo multicóptero tras otra maniobra de transición.



Imagen 1 - VALAQ 120 PATROL

UAV Works ha diseñado el soporte estructural, la electrónica de potencia, los mazos de cableado electrónico, las PCBs de integración de los componentes fundamentales, los sistemas de control electromecánicos, las baterías, etc. Sólo unos pocos componentes son comprados e integrados como por ejemplo el piloto automático, la cámara de vigilancia o los servos, el resto es fabricado en las instalaciones UAV Works. Al realizar el diseño completo en la propia empresa se dispone de toda la información técnica necesaria para



definir tanto los elementos que componen la aeronave como las técnicas de fabricación necesarias.

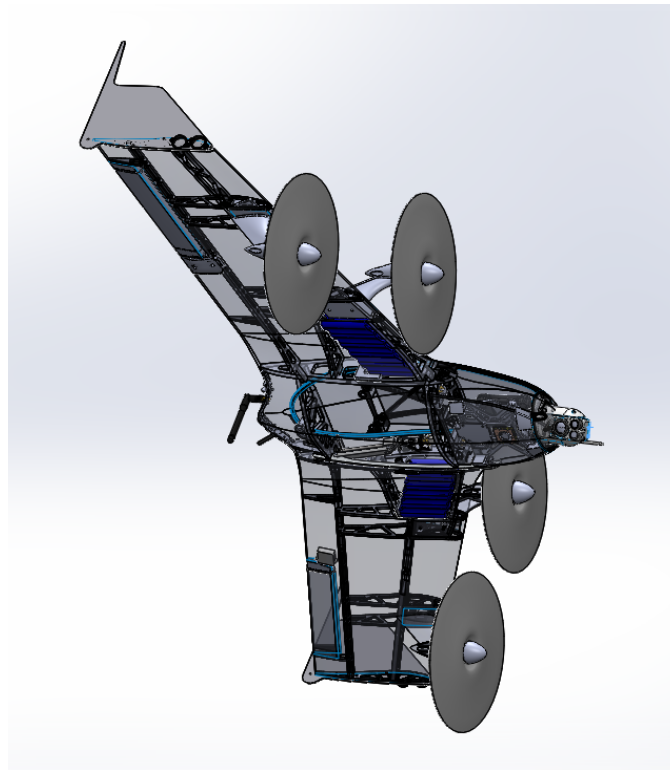


Imagen 2 - Modelo 3D VALAQ 120 PATROL

Se trata de un producto muy complejo donde gran parte de las operaciones son irreversibles y acumulativas, esto quiere decir que el producto está en constante transformación desde las materias primas fundamentales hasta el producto final totalmente operativo. Este hecho implica que el orden de los procesos no es intercambiable y además cada proceso aumenta el valor del producto pero también el coste de un posible error de fabricación.

El orden de magnitud de la fabricación es de semanas para terminar una unidad del producto y los tiempos de entrega de los proveedores pueden variar desde unos pocos días a un mes debido a lo específico de los componentes y su poca disponibilidad en el mercado. Por otro lado, gran parte de los componentes que integran la aeronave tienen un precio de compra muy alto por lo que el almacenaje es muy limitado. Por estos motivos el sobre coste en tiempo y gasto debido a los errores de fabricación es muy elevado.

Por otro lado, actualmente no existe una documentación ni metodologías específicas de fabricación, se requiere del conocimiento y/o técnica de los socios de la empresa para la realización de las operaciones. Esto limita las posibilidades de contratación y formación de nuevo personal o de subcontratación de procesos a empresas externas.

Por último, al mismo tiempo que se ha diseñado el VALAQ 120 PATROL también se ha diseñado el VALAQ 120 MAPPER cuyo objetivo son las operaciones de levantamiento aéreo y planimetría. Se ha intentado mantener una estandarización común en procesos y componentes para facilitar las acciones de adaptación de la planta productiva y de los planes de procesos de un producto a otro.



## 4.2. Particularización de los preceptos de lean manufacturing

El *lean manufacturing* consiste en un modelo de gestión cuyo principal objetivo es la optimización de la producción mediante la mejora continuada y la reducción de los desperdicios. Se consideran ocho tipos de desperdicios: la sobreproducción, los tiempos de espera, el transporte, el exceso de procedimientos, el exceso de inventario, los movimientos, los defectos y el desaprovechamiento del talento humano. Para reducir dichos desperdicios que no aportan valor al producto se aplican una serie de preceptos, no obstante, al tratarse de un producto y unas condiciones iniciales tan específicas no se ha encontrado el mismo grado de aplicación para todos los preceptos.

El marco de aplicación del lean manufacturing es la producción, sin embargo, durante el diseño del producto se han tenido en cuenta múltiples de estos preceptos para poder eliminar los desperdicios condicionados por el diseño. A continuación se recorren uno a uno los principales preceptos destacando los puntos clave de aplicación.

- **Estandarización:** La estandarización es el proceso de ajustar o adaptar características en un producto, servicio o procedimiento; con el objetivo de que éstos se asemejen a un tipo, modelo o norma en común. Este precepto se aplica sistemáticamente tanto en la producción, en el diseño y en la gestión de la información. Ejemplos de su aplicación son que todos los diagramas de flujo siguen la norma ISO 5807, que se utilicen los mínimos modelos distintos de tornillos y que dichos tornillos sigan una norma europea concreta (DIN 912) o que todos los procesos se ajusten a un modelo concreto para gestionar su información.
- **Calidad perfecta a la primera:** Los errores en la fabricación tienen el coste asociado del consumo de fungibles y/o componentes, y el coste temporal de tener que rehacer el proceso. Además ciertos errores pueden suponer la pérdida no solo del proceso actual sino de gran parte de los realizados anteriormente. Por lo tanto, el estudio en detalle del proceso es mandatorio para establecer una metodología que produzca los estándares objetivo, cuanto más se conozca el proceso menor desviación respecto a la calidad objetivo. El registro de toda esta información tiene asociado un coste temporal y personal elevado, sin embargo es una inversión a largo plazo que permite ahorrar en medidas correctivas en el futuro. Para este fin se establecen unas instrucciones detalladas de fabricación asociadas a cada uno de los procesos.
- **Procesos *pull*:** Las órdenes de fabricación son forzadas por el cliente final, no por la previsión de ventas, a su vez cada proceso estira del anterior. Para poder establecer un sistema de esta tipología de forma eficiente es necesario que los tiempos de producción y aprovisionamiento de materias primas estén muy controlados y que no se cometan errores. Debido a esta filosofía y al elevado coste de aprovisionamiento de los componentes se establece un sistema que consiste en cobrarle al cliente los materiales y los costes de fabricación por adelantado y a la entrega del producto se le cobra el resto, de este modo se mantiene un flujo de caja que permite que toda la

rueda gire de forma controlada, por ese motivo se tiene que tener un control exacto del dimensionamiento y las capacidades productivas para poder satisfacer al cliente.

- Flexibilidad en el volumen de producción: Capacidad para aumentar o disminuir la producción en función de la demanda, para ello se tienen totalmente controlados los procesos con el fin de que en un momento dado se permita un aumento de las unidades producidas sin tener que introducir cambios fundamentales en la planificación. Además se persigue que sea lo más rápido posible (facilidad de subcontratación, facilidad de formación de nuevo personal, reestructuración de los procesos para reducir tiempos de preparación y optimizar tiempos de operación, etc.). Por lo tanto, es imprescindible tener especificada la producción máxima posible con las condiciones actuales y tener prevista la línea de acción y necesidades en caso de que sea necesario aumentar dicha capacidad.
- Flexibilidad en el producto fabricado: Por otro lado también es importante la capacidad para cambiar el producto que se está fabricando de forma rápida y eficiente, con esta idea en mente se diseñan todos los componentes y procesos productivos de forma que sean fácilmente intercambiables y que todos los VALAQ respondan a la misma filosofía de fabricación (materiales similares, mismas operaciones pero con distinta configuración, la misma maquinaria o herramienta, que la gestión y la programación sea la misma, mismos proveedores, etc.)
- Flexibilidad en la solución para el mercado: El objetivo final es satisfacer la necesidad del cliente, debido a que el mercado para el producto en el que se trabaja es incipiente y cambiante sus necesidades también lo son, al no saber que exigirá el mercado en el futuro inmediato implica que se tiene que estar preparado para adaptarse a él. Por ese motivo el departamento de I+D+I deberá siempre estar trabajando en las actualizaciones y adaptaciones (aunque no se aplicarán de forma inmediata sino cuando se hayan realizado diferencias significativas). Todas las mejoras y cambios deberán adaptarse al formato de procesos estandarizados que define toda la fabricación, esto quiere decir que no solo es importante buscar mejoras y adaptarse a lo que solicita el mercado sino hacerlo de forma que su introducción en la producción ya puesta en marcha sea lo más sencillo y eficiente posible. El objetivo es que exista una relación simbiótica y orgánica entre el diseño y la fabricación, que la comunicación entre los departamentos sea total y transparente y que ninguno sea prisionero del otro.
- No dependencia de la capacidad resolutoria del personal: Con el fin de asegurar la calidad perfecta a la primera se implementan las siguientes medidas
  - Kits de montaje, en la medida de lo posible se agrupan y etiquetan las materias primas y componentes a la llegada de modo que estén clasificadas por procesos.
  - Instrucciones detalladas, cada proceso tendrá asociado un documento que detalla todo lo necesario para su realización.
  - Procesos estandarizados, las entradas, salidas y operaciones de cada uno de los procesos están totalmente definidas y serán independientes del resto de

- procesos. Tendrán bien delimitados los inicios y finalizaciones y una vez comenzados no serán interrumpidos.
- Estaciones de trabajo, se establecen espacios específicos para cada tarea donde se encuentren accesibles las herramientas necesarias para cada operación. Dichas herramientas pertenecen exclusivamente a su estación de trabajo asignada.
  - El método de las 5s consiste en la aplicación de unos protocolos para mantener y mejorar las condiciones de organización, orden, seguridad, limpieza y eficiencia. Originalmente fue concebido para su aplicación en la realización de procesos de fabricación pero al tratarse de conceptos generales puede extenderse su uso a otros elementos de la producción e incluso de la propia gestión empresarial. Las “5s” son las iniciales de cinco palabras japonesas que nombran cada una de las cinco fases que componen el método.
    - *SEIRI* – CLASIFICACIÓN. Consiste en identificar y separar los materiales necesarios de los innecesarios y en desprenderse de estos últimos.
    - *SEITON* – ORDEN. Se trata de establecer el modo en que deben ubicarse e identificarse los materiales necesarios, de manera que sea fácil y rápido encontrarlos, utilizarlos y reponerlos.
    - *SEISO* – LIMPIEZA. Basada en identificar y eliminar las fuentes de suciedad, asegurando que todos los medios se encuentren siempre en perfecto estado.
    - *SEIKETSU* – ESTANDARIZACIÓN. El objetivo es distinguir fácilmente una situación normal de otra anormal, mediante normas sencillas y visibles para todos dando lugar a un control visual.
    - *SHITSUKE* – DISCIPLINA. Consiste en trabajar permanentemente de acuerdo con las normas establecidas.
  - Mejora continuada: No solo constantemente se intenta mejorar todos los procesos (no sólo los productivos sino a nivel global de toda la empresa) sino que además esta mejora será obligatoria. Es decir, periódicamente se tiene que analizar lo ya establecido y evaluar si la forma actual de proceder es la mejor forma, aquí es donde se busca la creatividad y capacidad resolutoria del operario, no solucionando un problema actual sino planteando un mejor método de operación. Todas estas mejoras se recopilan para su análisis y en caso de que se considere un cambio a mejor se establecen las líneas y medidas oportunas. Por otro lado, aunque esta mejora continuada sólo se realiza obligatoriamente de forma periódica en cualquier momento puede surgir una idea espontánea de mejora que será registrarla en detalle y analizarla cuando se haga una revisión. No se detiene la producción por una buena idea, sino que cuando se detiene la producción se analizan las buenas ideas.
  - Relación a largo plazo con los proveedores: Debido a la filosofía *pull*, los tiempos y calidades de las materias primas tienen que estar totalmente controlados, para ello se buscará el desarrollo de acuerdos comerciales que primen la fiabilidad, es decir, un proveedor que sea más barato pero sus tiempos de entrega no sean regulares provocará más daño económico que beneficio debido al alto grado de eficiencia de producción que se busca y que los costes por unidad producida son muy altos. En

esta línea se recopilan la mayor cantidad de datos posibles (y lo más reales posibles) para poder realizar planes MRP II, de forma que se tenga totalmente controlado el calendario de producción e incluso se puedan realizar simulaciones de cómo serían las posibles variaciones o introducción de nuevos productos. Por otro lado, se utilizan componentes y fungibles estandarizados que no dependen de un proveedor en concreto, y además se intenta minimizar el número total de proveedores adquiriendo el máximo número de fungibles posibles de un mismo proveedor. Por último, cada proceso es autocontenido por lo que es posible la subcontratación de parte de la fabricación en caso necesario.

- Minimización de inventario: Debido al alto coste de los componentes y a las limitaciones de espacios disponibles es imperativo que no haya acumulación de stock en ningún momento, tanto de componentes, como de materias primas o incluso de productos finalizados. Sin embargo, los plazos de entrega de algunos componentes pueden llegar a ser de 30 o 40 días, por ese motivo será necesario mantener siempre un stock de seguridad que permita iniciar la producción en cuanto el cliente haga el pedido o no detener la producción en caso de que haya un error en la fabricación.
- Sistema *JIT (just in time)*: Para asegurar de que las materias primas llegan justo en el momento en el que son necesarias, se crea una estructura documental dinámica que controla completamente los materiales necesarios, los almacenados y los tiempos de entrega de los proveedores, de ese modo se sabe exactamente cuándo realizar los pedidos para que los materiales lleguen cuando van a ser empleados ni antes ni después
- Eliminación de procesos que no aportan valor: Se eliminan los procesos productivos y la documentación que no aporte valor añadido en el punto actual de escalado de la empresa, es decir, si no representa una mejora notable y sí un esfuerzo humano de implementación se evita su uso.
- Reducción de tiempos de espera y movimientos innecesarios: Como los procesos y sus interrelaciones están totalmente definidos se aplican algoritmos que permiten establecer el orden de operaciones y aprovisionamientos que minimice los tiempos no productivos.

### 4.3. Procesos de una empresa

Antes de definir en detalle los contenidos de la planificación de la producción es recomendable situarla dentro del marco del conjunto de diagramas de procesos de una empresa. Las flechas de la imagen 3 representan la transmisión de información entre procesos.

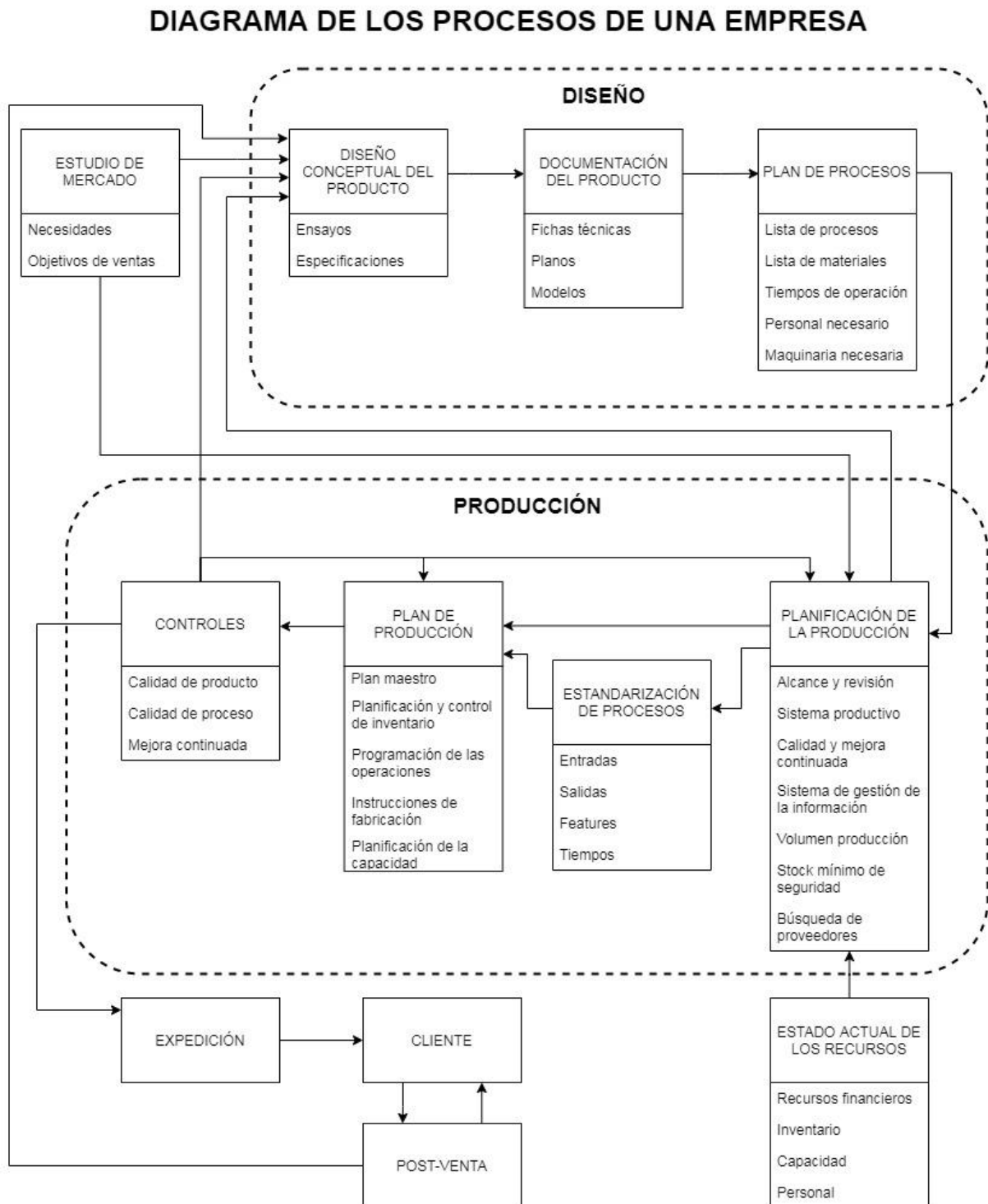


Imagen 3 - Diagrama de los procesos de una empresa

Para contextualizar el proceso productivo de la planificación de la producción en primer lugar se resume brevemente el resto de procesos previos. El punto de inicio es un estudio de mercado donde se identifican las necesidades de los clientes, se analiza la viabilidad comercial del producto, el potencial nicho de mercado y en último lugar por norma general se establecen unos objetivos de ventas para más adelante dimensionar la producción. El producto diseñado por UAV Works es único en su categoría de servicio y su solución de necesidades a nivel nacional (ninguna otra empresa fabrica aeronaves no tripuladas tipo ala volante para vigilancia y seguridad), esa particularidad junto con el hecho de que el mercado actual de drones se encuentra en periodo de definición y asentamiento implica que no se pueden realizar previsiones de ventas lo suficientemente fiables como para establecer una producción. En lugar de eso se recurre al método *pull* definido en el modelo *lean manufacturing* a través del cual el cliente final es el que activa la producción.

Las necesidades del cliente se transforman en especificaciones que debe cumplir el producto y se procede al diseño conceptual donde se definen los sistemas que lo integran y se realizan ensayos para comprobar la viabilidad del producto como solución de mercado. La siguiente tarea es documentar el diseño del producto a través de fichas técnicas, modelos 3D y planos.

### 4.3.1. Plan de procesos

Una vez totalmente congelado el diseño y delimitado en qué consiste exactamente el producto se pasa a definir cómo se fabrica, es decir, que procesos y en qué orden deben realizarse para poder transformar las materias primas en un producto terminado, llegando así al plan de proceso. La planificación de los procesos, es decir, la acción de definir, ordenar y delimitar los procesos para definir el plan de proceso, se realiza conjuntamente con el diseño del producto en empresas con una producción ya en marcha y establecidas en el mercado, de ese modo se diseña teniendo en cuenta el resto de productos que se están fabricando y sus planes de proceso asociados. Sin embargo, al tratarse de una empresa pequeña cuya producción todavía no está industrializada, la metodología ha consistido en tener en cuenta durante las fases de diseño los preceptos de *lean manufacturing* de estandarización buscando la máxima uniformidad posible entre los materiales y técnicas de fabricación para definir a posteriori la planificación de procesos. El plan de procesos incluye también la lista de materiales, de maquinaria y de personal que requiere cada proceso, así como una estimación de los tiempos de operación necesarios.

La planificación de la producción tiene un carácter general y puede ser aplicable a múltiples productos distintos teniendo cada uno su propio plan de procesos, sin embargo es muy útil realizar el diseño de la planificación de la producción mientras se va particularizando para un caso concreto, en este caso el VALAQ 120 PATROL. De ese modo se tiene una idea mucho más específica de los elementos que se deben incluir o cómo deben construirse las relaciones de trasvase de información. Por ese motivo se incluye el plan de procesos de dicho producto (imágenes 4 y 5) aunque no se entrará en detalle de en qué consiste cada proceso, se trata de un diagrama de carácter ilustrativo.

PLAN DE PROCESOS

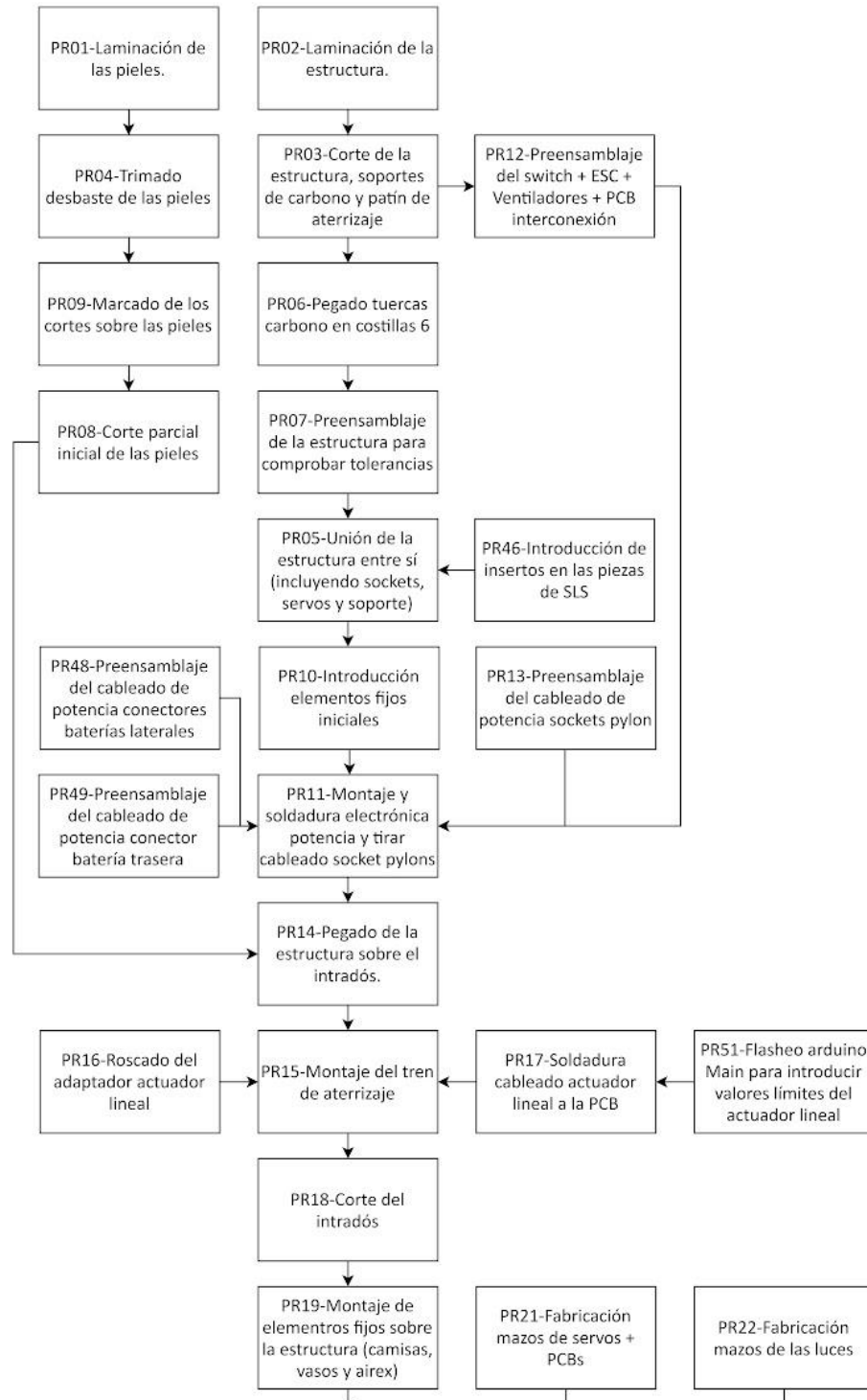


Imagen 4 - Plan de procesos (1)



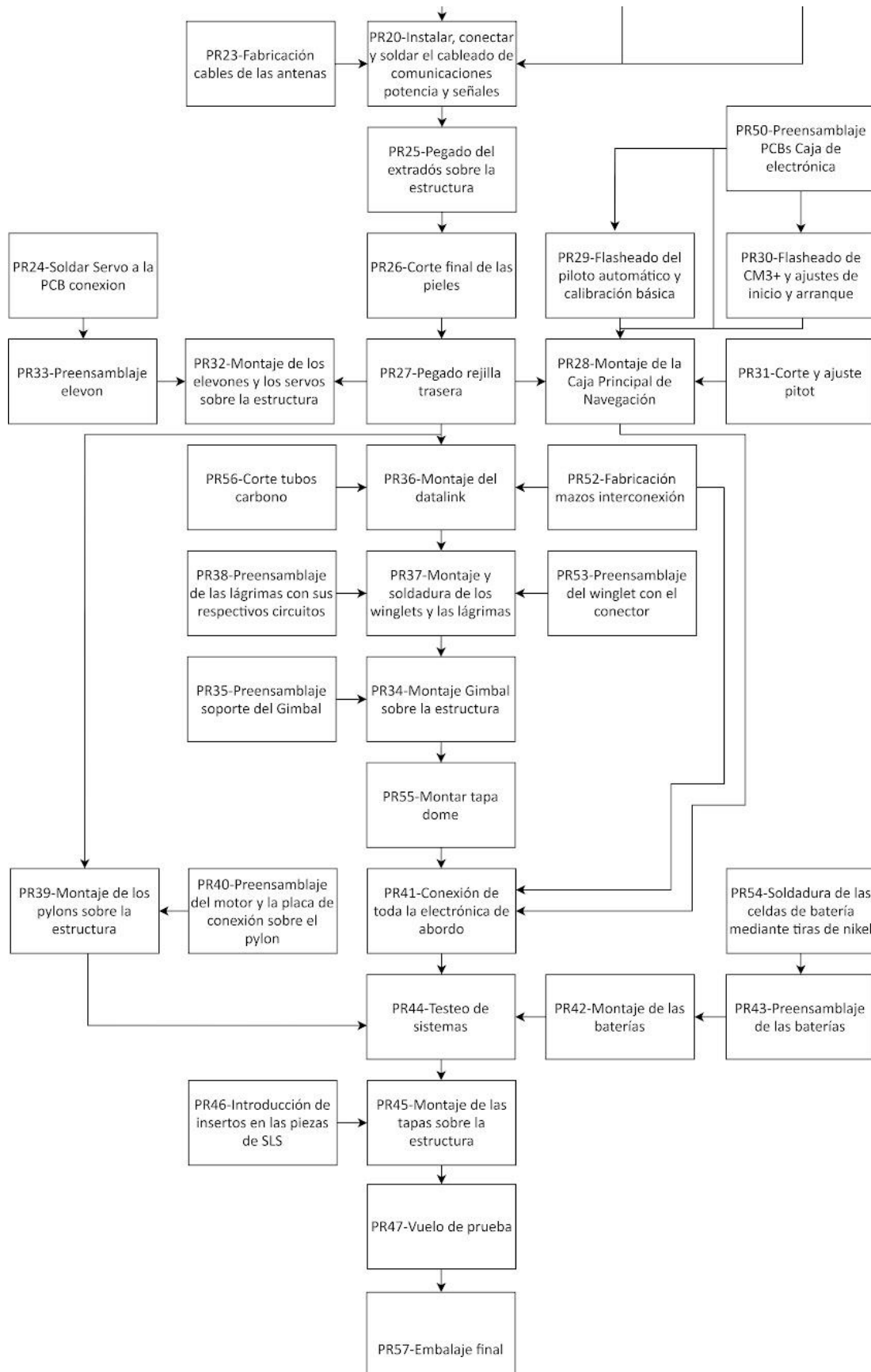


Imagen 5 - Plan de procesos (2)

### 4.3.2. Estado actual de los recursos

Previamente a la definición de la planificación de la producción se procede a realizar un análisis del estado actual de los recursos. El punto inicial sirve como marco de referencia y limitación de la planificación de la producción, o dicho de otro modo, una planificación que no puede llevarse a cabo porque no se dispone de recursos para ello es totalmente inútil.

- Recursos financieros: No se dispone de fondos para la aprovisionamiento de software específico de gestión y control de procesos ni para la contratación de personal específico para la planificación de la producción. Tampoco se dispone de presupuesto para alterar físicamente la planta productiva más allá de la reestructuración, no se pueden comprar herramientas ni maquinaria y se tiene que poder activar la producción con lo que se dispone actualmente.
- Inventario: No existe ningún sistema de gestión del inventario ni espacios asignados al almacenaje de componentes o herramientas específicas de la producción. Por otro lado, el tamaño reducido de las instalaciones implica que se debe mantener un stock reducido tanto de componentes para la fabricación como de productos terminados esperando a la expedición.
- Capacidad: No se dispone de un stock inicial de componentes por lo que la fabricación está supeditada al aprovisionamiento inicial. Se dispone de la lista de materiales con sus respectivas estimaciones de tiempos de entrega pero ningún calendario ni programación ni registro de cuándo se deben realizar los pedidos o cómo se controla su estado. Se dispone de maquinaria mínima suficiente para realizar todos los procesos de fabricación, una pequeña parte de dicha maquinaria se tiene por duplicado por lo que es posible trabajar en dos procesos en simultáneo que requieran dicha maquinaria o que dos operarios trabajen en ese mismo proceso. Por último actualmente la planta productiva está dividida en tres espacios de trabajo, dos de ellos tienen maquinaria (una CNC) o utillajes (moldes) asociados inamovibles y únicamente se emplean para realizar los procesos que requieren dicha maquinaria o utillajes, el tercer espacio es un conjunto de mesas que se utilizan de carácter general e indistinto para realizar todo el resto de procesos.
- Personal: De los cinco socios de la empresa tres tienen amplios conocimientos del producto y los procesos, con la consiguiente capacidad de fabricación independientemente de la organización del plan de producción. Con el diseño congelado, uno de los socios, el presente autor del TFM, tiene su carga de trabajo totalmente liberada para dedicarse íntegramente al diseño de modelos de gestión de la información para la planificación de la producción. El resto de socios están dedicados a tareas de comercialización, marketing y proyectos de ingeniería para terceros no relacionados con el producto a industrializar.

## 4.4. Contenidos de la planificación de la producción

Por lo tanto, partiendo del plan de proceso por un lado (que contiene la información de en qué consiste el producto, qué materiales se necesitan para fabricarlo, cómo se realizan las operaciones y cuánto tiempo requieren) y del estado actual de los recursos se pasa a definir cómo se realiza la producción. La planificación de la producción tiene como principal objetivo reunir toda la información relevante para la producción y delimitar el marco de aplicabilidad, es decir, establecer los criterios y metodologías que se emplean para confeccionar los planes de producción. Las tareas relacionadas con esta recopilación de información y toma de decisiones son de carácter no estandarizable, además dichas tareas no se realizan de forma habitual (a excepción de la búsqueda de proveedores) sino que se realizan previamente al establecimiento de la producción. A nivel práctico toda esa información, y las conclusiones basadas en ella, están recogidas en varios documentos.

### 4.4.1. Alcance y revisión

Define los límites que enmarcan la información contenida en la planificación de la producción, hasta donde llega la definición de detalle y qué datos mínimos se exigen en cada uno de los documentos que integran la producción. Por otro lado también se establece la periodicidad o condiciones para la revisión de cada uno de los documentos que integran o derivan de la planificación de la producción. Por último también registra los pasos a seguir para la implementación de la planificación de la producción o de las modificaciones producto de sus revisiones. Establecer revisiones obligatorias accionadas por eventos o por calendario es un elemento fundamental del precepto de mejora continua de *lean manufacturing*.

Los alcances y revisiones internas de cada uno de los documentos y/o apartados que integran el plan de producción se comentan en sus respectivos apartados más adelante.

### 4.4.2. Sistema productivo

Se entiende como sistema productivo al conjunto de preceptos y directrices que definen el planteamiento, la organización y la ejecución de los procesos de fabricación necesarios para la transformación de las materias primas. Por lo tanto, el sistema productivo incluye y está condicionado por los medios de producción disponibles. Existen diferentes modelos de sistemas productivos (cómo la producción continua, en serie o por lotes) pero teniendo en cuenta que el número de unidades fabricadas por pedido es bajo y su alto costo tanto en materiales como en tiempo se escoge un sistema productivo de producción por trabajo (a menudo también referido como producción por proyecto). Eso quiere decir que los esfuerzos de fabricación se concentran en terminar una unidad antes de pasar a la siguiente. No obstante, no se trata de un sistema de producción por trabajo puro como podría ser el de un barco o el de un puente, tiene componentes híbridos de la producción por lotes donde ciertos procesos intermedios se realizan simultáneamente para varias unidades con el fin de reducir tiempos y costes. Esta selección de sistema productivo es la consecuencia directa de la aplicación del precepto *pull* de *lean manufacturing* y de la

imposibilidad de estimar previsiones de ventas. En primer lugar la producción no se inicia hasta que el cliente realiza un pedido y en segundo lugar, el hecho de priorizar la fabricación unidad a unidad permite activar toda la producción aun cuando las unidades solicitadas son muy bajas (o incluso una) sin tener los espacios, maquinaria ni personal sobredimensionados, lo cual proporciona flexibilidad en el volumen de producción, cumpliendo otro de los preceptos de *lean manufacturing*. Por último al realizarse la fabricación de las unidades cuasi-secuencialmente se pueden expedir los productos terminados conforme vayan saliendo de planta y se puede aplicar una metodología de aprovisionamiento *JIT*, cumpliendo así con los preceptos de minimización de inventario. Otra de las razones por las que se aplica este sistema es que en esta etapa de crecimiento de la empresa los operarios encargados de la fabricación son los propios socios de la empresa, aunque no se produjeran pedidos y la producción estuviese detenida no habría un sobre coste debido a la mano de obra inactiva porque estaría dedicada a otras actividades dentro de la propia empresa.

Por otro lado el propio sistema productivo se organiza en torno al precepto de control por procesos, esto es, se considera el proceso de fabricación como la unidad mínima significativa y el sistema se construye en torno a las relaciones entre los diferentes procesos (ya sea entre ellos mismos o entre ellos y la planta productiva). Por lo tanto, se divide todo el flujo de fabricación en una serie de procesos cuyas entradas, salidas, *features* y tiempos están totalmente definidos, es decir, se aplica metodológicamente una estandarización de procesos. Esto permite establecer todas las restricciones y necesidades individuales de cada uno de los procesos de modo que sea sencilla la adaptación de la producción en caso de que se sustituyan o externalicen procesos concretos siempre y cuando se mantenga el flujo de entrada-salida del resto de procesos interconectados. La mayor ventaja del control por procesos es la flexibilidad en la producción o incluso en el producto (otro de los preceptos de *lean manufacturing*), se pueden alterar las características internas de un proceso (como por ejemplo cambiar el orden en el que se realizan las operaciones dentro de dicho proceso), externalizar procesos o directamente suprimir aquellos que no aporten valor (otro precepto de *lean manufacturing*) sin que dichas modificaciones afecten al propio sistema mientras se mantenga estable y coherente el flujo de entradas/salidas con el resto de procesos.

Por último, se delimita el formato y contenidos mínimos que debe poseer un proceso para ser considerado estándar. En este caso se divide el contenido del proceso en cuatro categorías: Entradas, salidas, *features* y tiempos. En el apartado de estandarización de procesos del presente TFM se realiza una descripción detallada de en qué consiste cada categoría y de la información mínima que debe contener.

#### **4.4.3. Calidad y mejora continuada**

La calidad es una función de la empresa dedicada a comprobar que se satisfacen los objetivos previstos, en los tiempos previstos y con los recursos que le han sido asignados. En este caso la calidad está enfocada a la producción y más específicamente a los procesos ya que el sistema productivo es de control por procesos. El objetivo de la calidad es minimizar la pérdida de valor durante la producción, dicha pérdida de valor puede provenir

de desperfectos, sobrecostos innecesarios, retrasos etc. En la planificación actual el concepto de calidad se aplica al producto, al proceso y al trabajo como se indica a continuación:

- Calidad del producto; hace referencia al nivel de cumplimiento con las especificaciones previstas del producto en concreto. Se aplica a nivel global con el producto finalizado, a nivel local con los subproductos de cada proceso y a nivel aprovisionamientos verificando que no hay desperfectos en los componentes adquiridos. Se nutre del diseño y documentación del producto para establecer los estándares.
- Calidad del proceso; hace referencia al nivel de cumplimiento entre el proceso siendo realizado y el proceso teórico ideal. Tiene en cuenta entre otras cosas si las instrucciones de fabricación son correctas, si se ha cumplido con el tiempo estimado de realización o si las herramientas empleadas tenían el estado adecuado de mantenimiento y limpieza.
- Calidad del trabajo; hace referencia a la comodidad y seguridad del operario durante el proceso. Recoge entre otras cosas las medidas de protección personal, analiza el entorno del operario durante el proceso y regula la carga de trabajo. Un operario estresado, distraído o aburrido tiene mayor probabilidad de cometer errores. Este apartado aunque importante en la planificación de la producción no se recogerá más allá de esta anotación en el presente TFM ya que no pertenece al nivel de aplicación actual.

En torno a la gestión de la calidad, se pueden considerar diferentes aspectos como:

- Gestión documental de calidad: Recoge y unifica toda la información referente a la calidad, define y delimita el resto de categorías estableciendo los estándares que se consideran apropiados para cada proceso producto, etc. En otras palabras, la gestión documental de calidad consiste en la elaboración de los controles, las medidas preventivas o correctivas y el registro de las acciones relacionadas con la calidad. La gestión documental se realiza previamente a la puesta en marcha de la producción y su revisión está definida en la propia planificación de la producción. También define donde se almacenan los registros de calidad, cuando se revisan y quién los revisa. La revisión de los registros muy desfavorables podría forzar la modificación de la planificación de la producción aun cuando todavía no se había alcanzado el punto programado de revisión.
- Control de calidad: Es la acción de comparar el proceso, operación, producto, aprovisionamiento, etc. con el estándar delimitado por la gestión documental de calidad y comprobar que satisface los mínimos exigidos. Por lo tanto, cada control de calidad estará definido para un caso en concreto, por ejemplo en el caso de los controles de calidad de producto la metodología a seguir está detallada en las instrucciones de fabricación del propio proceso. Cuándo, cómo y quién realiza los controles de calidad se define en la gestión documental de calidad.

- **Medidas correctivas:** Son las acciones tomadas tras un control de calidad desfavorable, consisten en rehacer o rectificar algún elemento de la producción para asegurar que se cumple con el estándar establecido, es decir, que se obtenga un control de calidad favorable. Dependen de cada proceso y no se puede establecer una norma general
- **Medidas preventivas;** son acciones previas a la realización del proceso con el objetivo de minimizar la aparición de errores. Se prioriza la aplicación de estrategias tipo *poka-yoke* (o prevención de errores inadvertida) cuyo objetivo es prevenir, corregir o atraer la atención de errores humanos en la producción mientras ocurren sin consumir tiempo ni recursos extra. Un ejemplo actual de aplicación de metodología *poka-yoke* es el pegado de un array de leds a la base del soldador, dichos leds están conectados a la propia alimentación del soldador, de ese modo el operario sabe en todo momento si el soldador está encendido o apagado y ese proceso de control no interfiere en ningún momento con la operación normal.
- **Registro de calidad:** Consiste en la acción de dejar por escrito el resultado de un control de calidad, aunque teniendo en cuenta el volumen actual de producción y el punto de implementación del plan de producción se considera que solo se registran los controles de calidad desfavorables. Este registro de errores, junto con su posterior análisis, es un elemento esencial para alcanzar el precepto de *lean manufacturing* de fabricación perfecta a la primera.

Actualmente se establece que los estándares de calidad vienen incluidos en las instrucciones de fabricación de cada uno de los procesos, por lo tanto, le corresponde al operario responsable del proceso realizar los controles. El control de calidad de proceso consiste en comparar el proceso realizado con el descrito en las instrucciones (incluyendo tiempos, herramientas utilizadas, metodología empleada, documentación consultada, etc.), si se ha requerido una acción o utilizar un objeto no incluido en las instrucciones o no se ha cumplido con el tiempo establecido de duración del proceso se considera que el control de calidad es desfavorable y se rellena su correspondiente registro. El control de calidad de producto consiste en comparar características de los subproductos generados en el proceso con el estándar establecido en las instrucciones, si la comparación es desfavorable se analiza la necesidad de aplicar medidas correctoras y se registra tanto el error como la medida correctora utilizada. Todos los procesos deben ser sometidos a estos dos controles, además se realiza un control de calidad de producto final con ensayos en vuelo. El control de calidad de los productos comprados se realiza en la recepción de los productos y consiste en una revisión visual antes de su almacenaje para localizar posibles desperfectos. Se utilizan controles de calidad tan laxos en los aprovisionamientos debido a que se utilizan productos de gran calidad que aseguran estándares de normas europeas. Además se busca activamente establecer relaciones de confianza a largo plazo con los proveedores (cumpliendo el precepto de *lean manufacturing*) para que la calidad y los tiempos de entrega estén asegurados.

Por último, estrechamente relacionado con la calidad se encuentra la mejora continuada, así como la calidad busca la minimización de errores mediante acciones de comparación, la mejora continuada es la detección de posibles fuentes de mejora en la producción sin



necesidad de aparición previa de errores. Esta mejora puede aparecer con la forma de metodologías alternativas que reduzcan tiempos o costes, distribuciones de la planta que faciliten los desplazamientos, uso de materiales que mejoren las prestaciones manteniendo los costes, mejores técnicas de control de inventario etc. La mejora continuada es una herramienta que se pone a disposición del operario para evitar el desaprovechamiento del talento humano (el octavo despilfarro de *lean manufacturing*). Estas ideas pueden aparecer espontáneamente, y cuando ocurran se realizará un registro para tenerlas en cuenta y analizar su posible aplicación. Además de espontáneamente cuando se realicen revisiones de la planificación de la producción se realizan revisiones de todos los procesos en busca de posibles fuentes de mejora. Independientemente del origen, la mejora no se implementará durante la producción sino que será analizada y se preparará su implementación en la planificación de la producción.

#### **4.4.4. Sistema de gestión de la información**

Define las herramientas y estructuras digitales que se utilizan para organizar y gestionar la información referente a la planificación de la producción. Asimismo también se especifica donde se guardan los documentos y define los estándares que deben cumplir dichos documentos. Por otro lado también se establecen los cauces y formas de transmisión de información aceptables entre diferentes elementos de la producción.

El soporte seleccionado para la gestión de la información es Google Drive ya que es una herramienta gratuita y en constante desarrollo donde los usuarios pueden generar complementos al software base que se pueden integrar fácilmente. Además satisface todas las necesidades mínimas actuales de organización de la información debido a que permite trabajar en la nube en tiempo real entre varios usuarios que acceden desde cualquier punto con conexión a internet. La base de la documentación se realiza en hojas de cálculo ya que permiten acciones de referencias cruzadas entre ellas, de este modo es posible establecer interrelaciones automáticas, por ejemplo, si se modifica una característica de un componente (por ejemplo su peso o tiempo de entrega) automáticamente se actualiza dicha característica en todos los documentos que hagan referencia a dicho componente. Además Google Drive permite la creación de formularios que suponen una forma sencilla de realizar registros de entradas de datos. Por último el sistema de gráficas, filtros y su versatilidad a la hora de personalizar la exposición de los datos permite generar diagramas de Gantt muy intuitivos para mostrar el plan de producción.

De forma adicional, y aunque no sea uno de los objetivos principales del presente TFM, Google permite el acceso a su herramienta Google App donde se pueden crear aplicaciones para móviles de forma sencilla e intuitiva basándose en hojas de cálculo. Éstas aplicaciones también funcionan en ordenadores y permiten crear centros de control de la información. Actualmente una misma aplicación es gratuita si se vincula a menos de cinco usuarios.

Por último los diagramas mostrados en el presente documento y usados como referencia visual para la definición de la planificación de la producción se realizan a través de draw.io, una página web de elaboración de diagramas online de uso gratuito.



#### 4.4.5. Volumen de producción

En primer lugar se analiza la capacidad y los tiempos de fabricación asociados al plan de procesos para determinar el tiempo de producción total de una unidad. Actualmente y asumiendo que todos los componentes están disponibles en el inventario, el tiempo de fabricación es de tres semanas con tres operarios asignados a la misma unidad. Se ha detectado un gran número de tiempos no productivos en múltiples procesos ya que al no existir un calendario de procesos se incurre fácilmente en cuellos de botella donde dos de los operarios deben esperar hasta que un proceso en concreto esté terminado por el tercer operario antes de poder proseguir con la fabricación. También se han detectado pérdidas sustanciales de tiempo debido a la falta de organización y registro del inventario así como a la superposición de procesos en los mismos espacios de trabajo. La falta de previsión y control en la aprovisionamiento de componentes también ha resultado en tiempos de espera entre procesos que han llegado a implicar que la producción del prototipo se alargue hasta los dos meses.

Por otro lado la fabricación de los prototipos ha seguido un sistema productivo puro de producción por proyecto, este sistema es imprescindible durante el diseño ya que en caso de detectar errores o realizar mejoras carecería de sentido realizar el mismo proceso en simultáneo pues podrían quedar anulados. Por ese motivo no se han podido establecer estimaciones empíricas de los costes temporales de fabricación en el caso de realizar múltiples procesos de forma simultánea.

Realizar estimaciones apropiadas del volumen de producción es fundamental para la negociación con el cliente final. Estas estimaciones pueden realizarse de forma manual pero es un proceso lento y costoso que implica un alto nivel de decisión y creatividad humana con la consiguiente probabilidad de error humano, además su realización se complica exponencialmente con el aumento de variables, es decir, cuantas más características de los propios procesos y de la planta productiva se deseen tener en cuenta. En su lugar se opta por la creación de una herramienta digital que realiza todo ese trabajo de forma automática, de ese modo no solo se limita las necesidades de creatividad humana en la producción (precepto de lean manufacturing) sino que se acelera el proceso y se crea una potente herramienta de simulación que puede emplearse para el análisis y optimización del plan de producción. Este software de ordenación de procesos ha sido denominado "Algoritmo de planificación de la producción" y sus características y ejemplos de uso están detalladas en su correspondiente apartado de este mismo TFM.

Con la herramienta de simulación se puede definir mejor la segunda parte del control del volumen de producción que consiste en el análisis de todas las variables que intervienen en la producción para determinar cuáles de ellas son críticas. En otras palabras, el algoritmo permite la simulación de distintos planes de producción con distintas variables de entrada, obteniendo resultados distintos y contrastables. Por ejemplo si se considera que uno de los elementos críticos es la falta de espacios dedicados a un tipo de proceso podría realizarse una simulación aumentando dichos espacios, de esa forma rápidamente podría compararse la variación en la programación de los procesos y en el tiempo total de producción.

Con estas simulaciones y análisis se pueden diseñar diferentes escenarios, delimitadas las modificaciones en la producción correspondientes a cada escenario se puede dimensionar el coste y necesidades de la ampliación correspondiente.

#### **4.4.6. Stock mínimo de seguridad**

Con una planificación de la producción ideal que siguiese todos los preceptos de *lean manufacturing* no sería necesario mantener ningún tipo de stock de componentes porque todos llegarían a la planta justo cuando son necesarios y todos los procesos consumirían única y exclusivamente los recursos asignados sin producirse fallos jamás. No obstante, el precepto de calidad perfecta a la primera requiere de un refinamiento y trabajo continuo, es inevitable, y especialmente en las fases tempranas de la puesta en marcha de la producción, la aparición de defectos o despilfarros en la producción. Debido a ello es necesario realizar un balance de cuánto retraso supone un error en la producción por la necesidad de volver a realizar pedidos de componentes y decidir qué cantidad de stock mínimo sería recomendable para minimizar dicho retraso. Esta decisión está fuertemente basada en que posición en la programación del plan de procesos ocupe el componente, por ejemplo, un componente que requiera pegado en las etapas iniciales de la producción es muy crítico ya que existen muchos procesos donde podría producirse un desperfecto grave, sin embargo si el mismo componente se integra en el último proceso solo un error en dicho proceso implicaría un desperfecto. Además de en qué etapa de la producción se encuentre el componente es necesario tener en cuenta su coste y dimensiones a la hora de almacenarse. Por último también debe tenerse en cuenta los tiempos de entrega de cada componente. Por todos estos motivos la elección de stock mínimo de seguridad debe realizarse analizando uno a uno todos los componentes que intervienen en la producción.

Paralelamente es recomendable establecer un stock de inicio inmediato de la producción, es decir, la cantidad mínima de componentes necesarios para permitir el inicio de la fabricación en cuanto se confirme un pedido, de ese modo se ahorra el tiempo de aprovisionamiento inicial. La herramienta de simulación “Algoritmo de planificación de la producción” es muy útil para dimensionar el stock de inicio inmediato.

Actualmente no se dispone de ningún stock de seguridad ni de ningún stock de inicio inmediato de la producción ni está previsto establecer ninguno debido al bajo recurso financiero actual. Se revisará esta asignación cuando se realice la revisión de la planificación.

#### **4.4.7. Búsqueda de proveedores**

La relación con los proveedores es una de las piedras angulares de la filosofía *lean manufacturing*, es mandatorio utilizar proveedores que aseguren los tiempos de entrega y las calidades de sus productos. La acción de estudiar el mercado y localizar alternativas a los proveedores actuales debe ser llevada a cabo de forma constante y metódica, se trata de la única acción perteneciente a la planificación de la producción que está en constante ejecución, no obstante el cambio de proveedor no se debería realizar una vez esté en marcha un pedido salvo que se produzcan conflictos con los proveedores establecidos. Por

lo tanto, en este apartado se delimita cómo se gestiona la información de los proveedores actuales y las posibles alternativas. Por otro lado se analiza componente a componente para establecer su nivel de prioridad en la búsqueda de alternativas, por ejemplo es más sencillo encontrar alternativas de proveedores de tornillería con estándar europeo que componentes electrónicos muy específicos como podría ser el módulo de telemetría. También se establece el mínimo de alternativas que se deben tener localizadas en caso de que el proveedor habitual no tenga stock. Se prioriza la posibilidad de establecer relaciones comerciales a largo plazo por encima de la ventaja competitiva de precios. Por último en la medida de lo posible se agrupan diferentes componentes bajo un mismo proveedor para minimizar el número total de proveedores distintos.

Actualmente se dispone de un proveedor para cada componente que integra el producto y no hay asignado ningún operario a la búsqueda activa de proveedores. No obstante sí que existe un registro de posibles alternativas a falta de estudios detallados de viabilidad. Debido a que la empresa está concentrada en la comercialización existe una aparición espontánea indirecta de proveedores, no se destinarán recursos adicionales a una búsqueda específica hasta la revisión programada de la planificación de la producción.

## **4.5. Estandarización de procesos**

En la definición del sistema productivo se establece que la metodología de trabajo consiste en el control por procesos, para ello es necesario realizar la estandarización de la lista de procesos obtenida del plan de procesos. La estandarización consiste en la acción de aplicar un modelo de gestión de información específico a cada uno de los procesos, en otras palabras, forzar la información y contenidos de cada uno de los procesos a adaptarse a la estructura definida en la planificación de la producción. Esta tarea es sumamente importante por varios motivos, en primer lugar permite crear jerarquías modulares donde cada proceso esté perfectamente definido y autocontenido, de ese modo, tal y como se expuso en la definición del sistema productivo, es posible realizar cambios individuales sin la necesidad de redefinir todo el sistema de gestión de la información. Por otro lado, al utilizarse un sistema de gestión de la información que permite la localización y extracción de datos de forma automática entre distintas fuentes (distintas hojas de cálculo) es posible realizar listas automáticas y que estén siempre actualizadas. Por ejemplo, si cada proceso tiene asignados unos materiales necesarios para la fabricación se puede generar automáticamente una lista de materiales accediendo a esa información de cada uno de los procesos. Esta organización de la información es esencial para poder utilizar el algoritmo de planificación de la producción. Otra ventaja de este sistema es que permite integrar nuevas características a los procesos y que la estructura fundamental de la planificación de la producción se mantenga intacta, un ejemplo, en futuras iteraciones de la planificación de la producción podría considerarse importante que cada proceso tenga definido el gasto energético que conlleva, para introducir dicha características solo sería necesario asegurarse de que no se modifican los formatos ni contenidos del resto de características y que todos los procesos incluyan este gasto energético. Por último, el uso de procesos estandarizado independiza los contenidos de los contenidos por lo que permite que el sistema de gestión sea de aplicación general, esto es, permite que se generen planes de

producción para productos similares que compartan gran parte de los contenidos de la planificación pero que difieran en los procesos.

## PROCESO ESTANDARIZADO

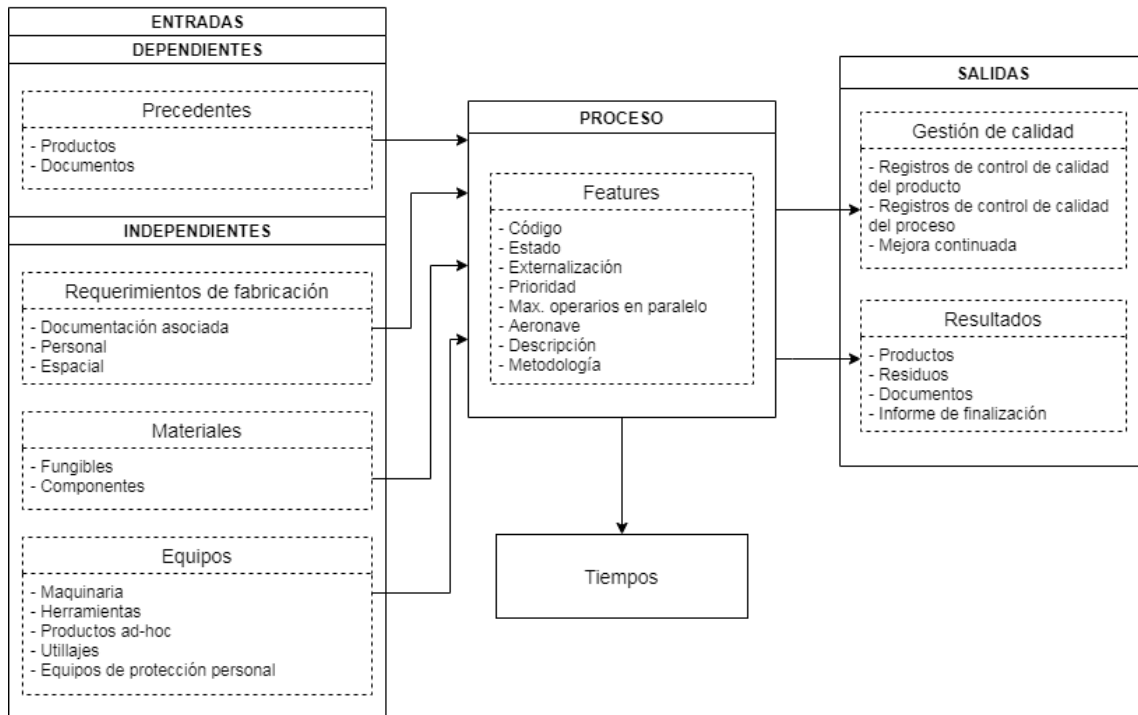


Imagen 6 - Contenidos del proceso estandarizado

La información contenida en el proceso estandarizado se divide en cuatro categorías:

- Entradas, consiste en los elementos ajenos al proceso que deben estar disponibles, a su vez se dividen en dependientes e independientes en función de si los elementos se obtienen como resultado de otro proceso.
  - Productos, elementos físicos y tangibles.
  - Documentos, información no tangible generalmente bajo la forma de informe digital.
  - Documentación asociada, información auxiliar referente al proceso o los componentes que lo integran como los planos, diagramas, *datasheets*, etc.
  - Personal, operarios requeridos para la realización del proceso, puede contener restricciones de formación técnica.
  - Espacial, se divide los espacios disponibles de la planta productiva en estaciones de trabajo. En este apartado se especifica qué estación ocupará el proceso durante su realización.
  - Fungibles, elemento que se consume parcialmente en la realización del proceso y cuyo consumo no se puede dimensionar con los recursos actuales. Por ejemplo, la vida útil de una fresa se dimensiona en horas de trabajo bajo unas condiciones específicas, la falta de repetición del proceso implica que actualmente no se puede establecer exactamente el número de horas útiles y, por lo tanto, se considera fungible. Otro ejemplo de elemento fungible es el alcohol isopropílico para la

limpieza de las pieles antes del pegado ya que su cantidad depende de las condiciones de almacenaje de las pieles, los acabados finales de los procesos de laminación y la pericia del operario.

- Componentes, elementos que se consumen totalmente o cuya cantidad consumida es dimensionable. Ejemplos de componentes son las PCBs que se consumen íntegramente para fabricar la electrónica o la resina que se tiene totalmente controlado el volumen necesario para la realización del proceso.
- Maquinaria, equipos que utiliza el operario para la realización del proceso. Son considerados inamovibles durante la producción y, por lo tanto, están vinculados a estaciones de trabajo. Por ejemplo, no se puede trasladar la máquina CNC sin desmontarla por lo que la estación de trabajo de mecanizado es el espacio dedicado a dicha máquina exclusivamente. Otro ejemplo son los moldes de laminación cuya masa y restricciones de planitud en la superficie donde apoyan implican que no deben ser trasladados de su estación de trabajo asignada.
- Herramientas, equipos móviles que pueden estar mecanizados que emplea el operario para la realización del proceso. Aunque estos equipos puedan ser trasladados entre estaciones de trabajo el objetivo a largo plazo es que cada estación de trabajo contenga su propio y exclusivo set de herramientas en función de la finalidad de dicha estación de modo que se eliminen completamente los desplazamientos de herramientas dentro de la planta (siguiendo preceptos de *lean manufacturing* de reducción de despilfarros en traslados innecesarios y de aplicación de las 5s a los espacios de trabajo). Ejemplos de herramientas serían los taladros, los destornilladores o los soldadores.
- Productos ad-hoc, elementos creados exclusivamente para la asistencia en la realización de un proceso. El objetivo a largo plazo es eliminar la necesidad de usar estos productos o convertirlos en productos reutilizables y, por lo tanto, en utillaje.
- Utillajes, elementos auxiliares para la asistencia en la realización de un proceso con carácter reutilizable. Por ejemplo el utillaje de pegado son soportes impresos en 3D que se utilizan durante el pegado de la estructura para asegurar el posicionamiento.
- Equipos de protección personal, elementos auxiliares empleados por el operario para asegurar su integridad física durante el proceso como pueden ser las gafas de protección, los guantes o los cascos de insonorización.
- *Features*, consisten en las características internas inherentes que definen el proceso. Actualmente se emplea el siguiente conjunto de *features* pero puede ser ampliado en función de futuras necesidades detectadas durante la producción. No hay un límite al número de *features* que pueden contener los procesos pero es mandatorio que todos los procesos tengan todas las *features* definidas, aunque en algunos procesos algunas *features* consisten en conjuntos vacíos.
- Código, se le asigna un código alfanumérico único a cada proceso, de ese modo se puede referenciar única e inequívocamente. Actualmente se utiliza el sistema XX-YY donde XX indica el grupo al que pertenece (proceso, componentes, operarios, maquinaria, etc) e YY el número de identificación. Nótese que este sistema de codificación se emplea en otros elementos de la producción no solo en la definición de los procesos, esto es así para asegurar una mayor estandarización de la planta productiva. Inicialmente se mantiene estos códigos simples ya que

facilitan la gestión sin embargo al tratarse de una gestión de la información totalmente diseñada por la empresa se pueden ampliar estos códigos e incluso implementar códigos inteligentes de forma sencilla en futuras revisiones de la planificación de la producción.

- Estado, una variable para uso interno del algoritmo de planificación de la producción, define si el proceso está en espera, en ejecución o terminado.
- Subcontratación, define si el proceso se realiza dentro de la propia empresa o si se trata de una subcontratación. Uno de los objetivos de la empresa es progresivamente externalizar aquellos procesos de fabricación con gran consumo de recursos humanos o temporales. Además como herramienta de simulación es útil la capacidad de poder establecer procesos como realizados externamente, y, por lo tanto, se convertirían en componentes a adquirir, para analizar cómo afectan a los tiempos de producción.
- Prioridad, consiste en una etiqueta empleada para generar una pseudo optimización manual del plan de producción, su objetivo es distinguir importancias entre procesos que puedan realizarse en paralelo.
- Max. operarios en paralelo, establece el límite de operarios que pueden trabajar al mismo tiempo en un proceso. Se han concebido todos los procesos para que puedan ser realizables con un solo operario, sin embargo para reducir tiempos ciertos procesos pueden ser llevados a cabo entre varios operarios.
- Aeronave, una etiqueta de ordenación para el algoritmo de planificación de la producción que establece la aeronave en producción a la que pertenece el proceso.
- Descripción, consiste en una breve exposición de las operaciones y contenidos del proceso para una rápida referencia.
- Metodología, se trata del conjunto de instrucciones de fabricación que establecen cómo debe realizarse el proceso y los controles de calidad asociados a él.
- Tiempos, son el conjunto de características temporales asociadas al proceso, podrían considerarse como el conjunto de *features* cuyo contenido es exclusivamente de dimensionamiento temporal. La separación de los tiempos del resto de features es importante ya que matemáticamente se procesan de forma distinta las características estáticas y las dinámicas, algo relevante en el procesamiento de la información que realiza el algoritmo de planificación de procesos. Actualmente se distinguen dos tiempos; el de fabricación, que indica las horas que debe dedicar un operario a la finalización del proceso; y de espera, que indica las horas que deben pasar para que un proceso esté finalizado pero que ya no requieren de la atención del operario. Típicamente los tiempos de espera están vinculados a procesos que requieran pegado o que tengan periodos de enfriado.
- Salidas, consiste en los elementos que son producto de la realización del proceso, estos elementos pueden ser de carácter obligatorio, cómo los resultados, o de carácter situacional, cómo los registros de control de calidad que solo se redactan si los resultados de los controles son desfavorables.
- Registros de control de calidad del producto, documento digital empleado para dejar constancia de algún problema relacionado con producto, junto con las medidas correctoras aplicadas.



- Registros de control de calidad del proceso, documento digital empleado para dejar constancia de algún problema relacionado con el proceso, junto con las medidas correctoras aplicadas.
- Mejora continuada, documento digital empleado para dejar constancia de una posible fuente de mejora tanto en el producto como en el proceso o en cualquier elemento relacionado con la producción.
- Productos, elementos físicos tangibles obtenidos de la realización del proceso.
- Residuos, elementos físicos tangibles no deseados obtenidos como consecuencia de la realización del proceso.
- Documentos, información recogida, habitualmente en formato digital, obtenida de la realización del proceso.
- Informe de finalización, información digital suministrada al sistema de gestión de la información del plan de producción para dejar constancia de la finalización del proceso. Este documento se utiliza para sustraer automáticamente del inventario los componentes consumidos en la realización del proceso y para actualizar automáticamente los diagramas de Gantt y calendarios del plan de producción introduciendo los tiempos empleados en la realización del proceso. Este informe es un formulario digital que se nutre de la lista de procesos de modo que solo es necesario indicar qué proceso se ha realizado por quién y automáticamente tiene en consideración todos los consumos de dicho proceso, de ese modo solo es necesario introducir datos manualmente cuando existan desviaciones respecto a lo establecido por defecto. Esta simplificación de las tareas de gestión de la información se realiza para cumplir con el precepto de lean manufacturing de suprimir procesos que no aportan valor al producto.

Además de la definición de los contenidos y formatos la estandarización de los procesos implica el uso de un protocolo de actuación. Este protocolo divide el proceso en cinco fases que indican y aseguran el orden de acciones que el operario debe realizar para la ejecución satisfactoria del proceso. Esta separación y ordenación es el resultado directo de la aplicación de las 5s sobre la metodología de trabajo.

### FASES INTERNAS DEL PROCESO

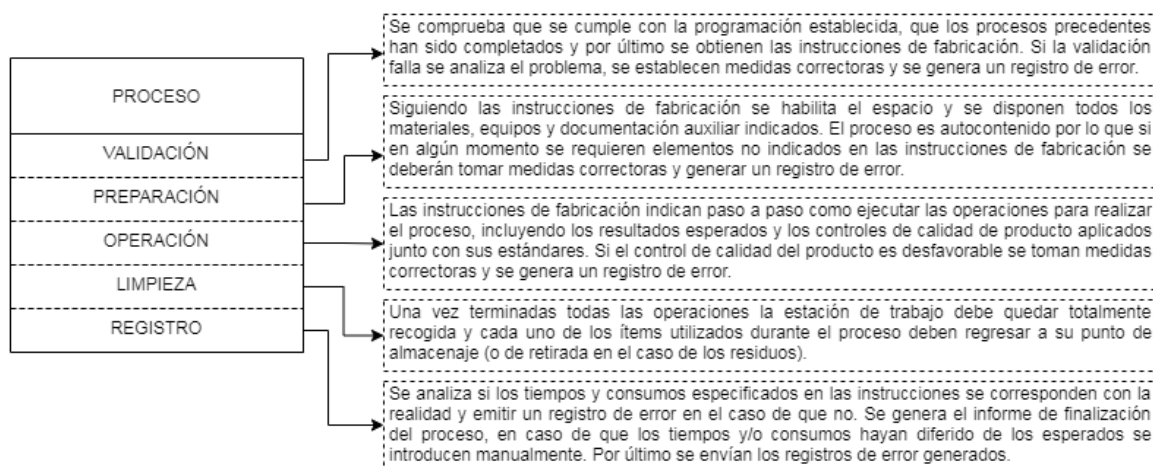


Imagen 7 - Fases internas del proceso estandarizado



## 4.6. Gestión de la información de la producción

La planificación de la producción establece el marco general aplicable a la producción de la empresa, la aplicación de ese marco general a un pedido de un producto en concreto genera el plan de producción de dicho pedido. Aunque los contenidos internos del plan de producción son en su mayoría exclusivos al producto y al pedido en concreto su estructura de gestión y organización de la información es homóloga entre pedidos. Tal y como ocurría en la estandarización de procesos, los contenidos del plan de producción no son relevantes para el proyecto, lo que es relevante son las relaciones de transmisión de información y la estructura organizativa que componen los distintos documentos.

A continuación se muestra un diagrama ilustrativo (imagen 8) de los diferentes apartados que componen el plan de producción junto con sus relaciones de transmisión de información. En las secciones subsiguientes se expone en qué consiste cada uno de los apartados y como es adaptado al caso específico de la empresa siguiendo las directrices establecidas en los contenidos de la planificación de la producción y la particularización de los preceptos de *lean manufacturing*.

## GESTIÓN DE LA INFORMACIÓN DE LA PRODUCCIÓN

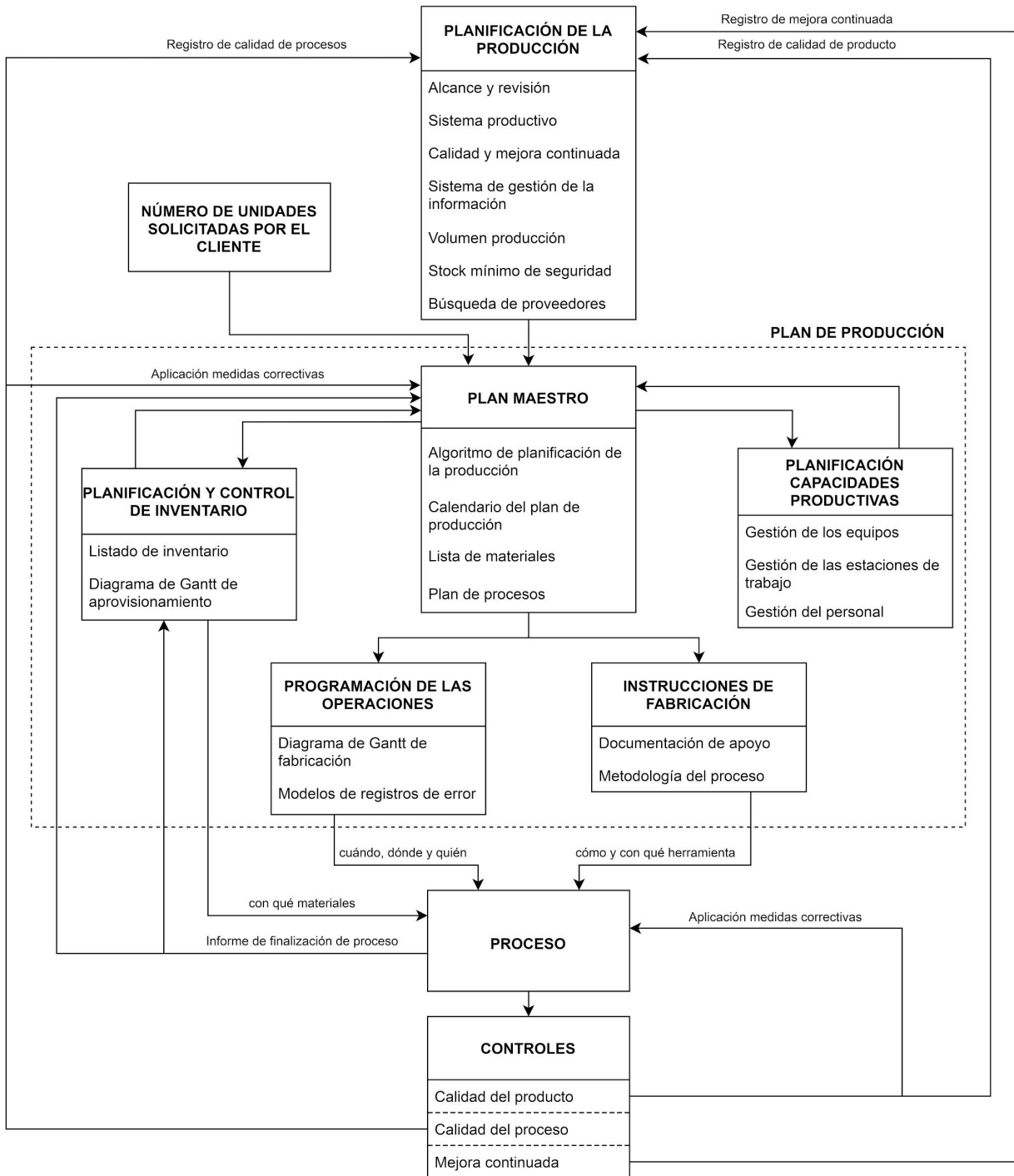


Imagen 8 - Gestión de la información de la producción

### 4.6.1. Plan Maestro

El plan maestro es el conjunto de documentos que programan y organizan las acciones que deben realizarse para la producción satisfactoria de un pedido en concreto, por lo tanto, el principal objetivo del plan maestro es establecer el calendario de lanzamiento de órdenes de fabricación y de aprovisionamiento. La información contenida en el plan maestro hace referencia mayoritariamente a características del propio proceso y se puede dividir en tres categorías; en primer lugar contiene toda la información específica y exclusiva del producto solicitado por el cliente, esto es la lista de procesos y de materiales; en segundo lugar contiene el algoritmo de planificación de la producción que se ha construido en base a los contenidos de la planificación de la producción; y por último contiene el calendario del plan de producción que establece las fechas en las que deben ser lanzadas las órdenes de fabricación o de aprovisionamiento para completar el pedido satisfactoriamente.

Para obtener el calendario del plan de producción se aplica el algoritmo al plan de procesos utilizando la información contenida en los siguientes documentos para establecer restricciones: la lista de procesos, la lista de materiales, los calendarios de disponibilidad de maquinaria, estaciones de trabajo y personal, la lista de inventario actual y por último las unidades solicitadas por el cliente. Nótese que el algoritmo no solo tiene en cuenta las variables inherentes al producto, cómo la lista de procesos y la lista de materiales, sino que toma en consideración factores inherentes a la planta productiva, cómo el calendario de disponibilidad de las estaciones de trabajo o la lista de inventario, y, por lo tanto, además de producir el calendario de plan de producción también genera automáticamente las actualizaciones para los documentos que gestionan la planta productiva. El funcionamiento del algoritmo se expone en detalle en su propio apartado dentro de este proyecto.

Además de la creación del calendario del plan de producción el plan maestro gestiona la evolución de la producción mediante los informes de finalización de procesos. Estos informes actualizan automáticamente el calendario indicando que procesos han sido realizados y en qué tiempos, de ese modo se puede evaluar el nivel de cumplimiento con el programa.

Por último, otra de las funciones del plan maestro es la redefinición del plan de producción en caso de que se hubiesen detectado errores mediante los controles de calidad. Estos errores pueden provenir de diversas fuentes, como por ejemplo un error humano que fuerce la repetición de un proceso o un componente que no hubiese cumplido con su tiempo de entrega y estuviese provocando retrasos, pero mediante la modificación de las features de la lista de procesos o de la lista de materiales se puede volver a aplicar el algoritmo de planificación de la producción y actualizar el plan de producción.

A continuación se muestra un diagrama de flujo de trabajo en la planificación de un pedido (imagen 9), es decir, en la aplicación de la planificación de la producción sobre unas condiciones específicas (de producto y cliente) para obtener el plan de producción. La simbología del diagrama utiliza la norma ISO 5807 que se encuentra descrita en el ANEXO I.

### PLANIFICACIÓN DE UN PEDIDO

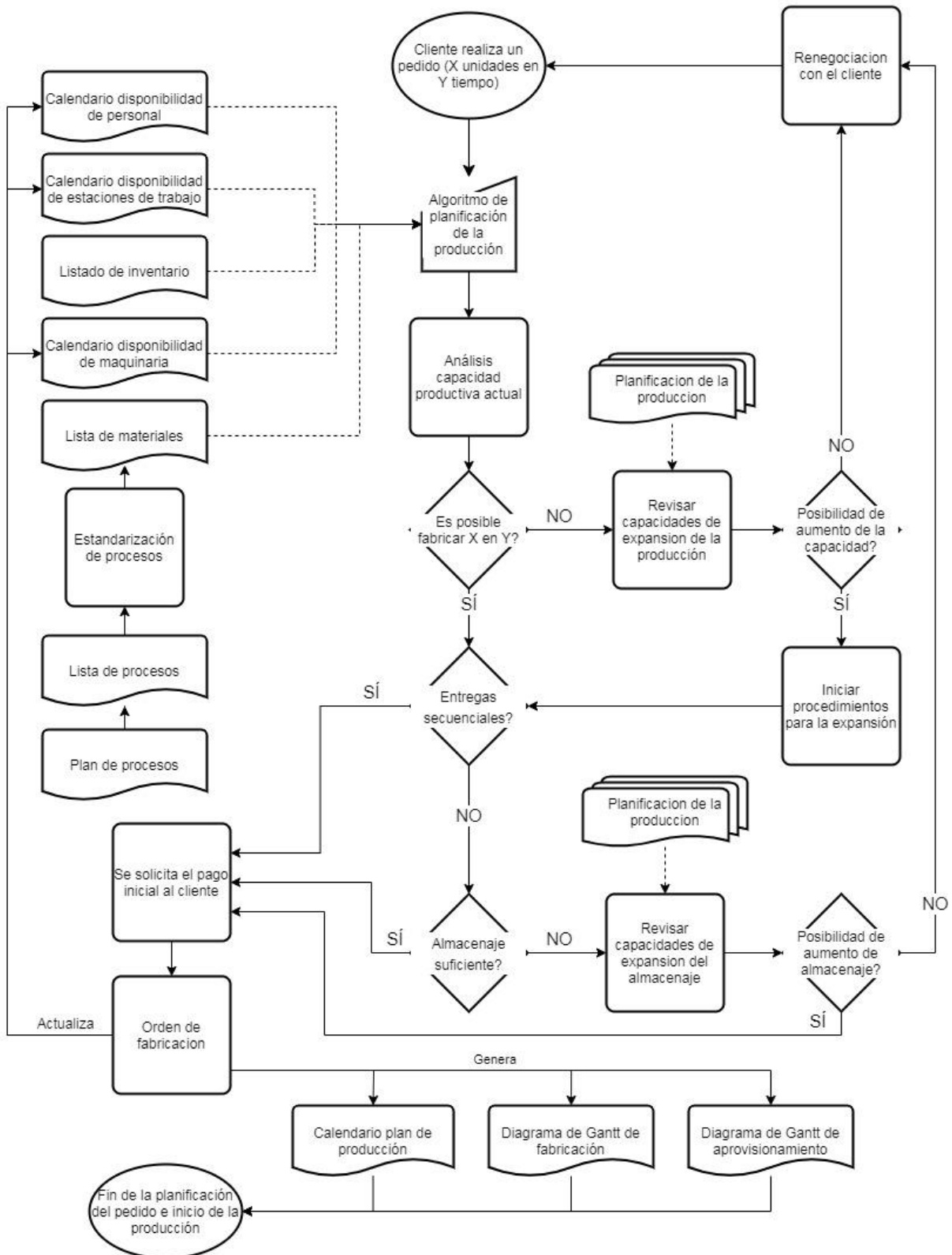


Imagen 9 - Planificación de un pedido

### 4.6.2. Planificación y control de inventario

En este apartado se definen los documentos relacionados con la gestión de la información del inventario. El primer documento consiste en una lista unificada de inventario, esto quiere decir que existe un único listado de inventario para toda la planta productiva y, por lo tanto, no es exclusiva del plan de producción ligado al pedido. Todos los componentes, fungibles y herramientas que participen directa o indirectamente en la producción deben aparecer en este listado junto con los siguientes datos asociados como mínimo; Nombre, código, tipo, sistema, unidades almacenadas, peso por unidad, material, proveedor, peso, precio aprovisionamiento, precio aduanas/transporte, tiempo de aprovisionamiento y enlace directo a la web del proveedor. Nótese que por ejemplo la fecha de caducidad no se considera un dato asociado y, por lo tanto, escapa al alcance actual, en el caso de futuras revisiones podría incluirse esta u otras características. Como la producción todavía no se ha activado se establece una revisión manual del inventario accionada por evento, se hará un recuento y comprobación de datos tras la quinta unidad fabricada. Por otro lado al tratarse exclusivamente de la parte de gestión de la información de la planificación no se hace referencia a donde debe estar situado el inventario físicamente en la planta o como se distribuyen los materiales, en futuras revisiones y ampliaciones de la planificación de la producción se especificarán estas características. Para la elaboración de la lista de inventario se emplea el sistema de Google Drive Sheets seleccionado en el apartado de sistema de gestión de los contenidos de la planificación de la producción, este sistema permite que mediante el uso de un formulario, el informe de finalización de proceso, se actualicen automáticamente las unidades almacenadas en la lista de inventario.

El segundo documento es de uso exclusivo del plan de producción específico de un pedido y consiste en un diagrama de Gantt que especifica qué día deben realizarse los pedidos para que, cumpliendo con los tiempos de entrega establecidos, los componentes lleguen justo cuando van a ser empleados en los procesos de fabricación (siguiendo los preceptos de *lean manufacturing*). Este diagrama de Gantt de aprovisionamientos es uno de los resultados de la aplicación del algoritmo de planificación de la producción y extrae los datos relevantes directamente del documento de la lista de inventario, como podrían ser los enlaces de compra de cada producto, para facilitar al operario las acciones de aprovisionamiento.

### 4.6.3. Programación de las operaciones

Este apartado contiene el documento que define el orden en el que deben realizarse los procesos (el diagrama de Gantt de fabricación) y los modelos de registro de errores que pueden alterar el curso establecido de ejecución de procesos. El diagrama de Gantt de fabricación es un resultado directo de la aplicación del algoritmo de planificación de procesos y, por lo tanto, es de uso exclusivo del plan de producción específico para un pedido en concreto. El diagrama muestra de una forma visual y accesible el orden en el que deben realizarse los procesos, incluyendo el tiempo programado necesario para su ejecución, dividiendo todas las tareas por operarios. Dicho de otra forma es una fuente de información que especifica a cada operario que proceso debe realizar en qué momento y dónde debe realizarlo, es decir, que estación de trabajo tiene asignada dicho proceso.

Además proporciona información auxiliar de utilidad como a qué aeronave dentro del pedido pertenece dicho proceso o qué procesos han sido ya finalizados. El diagrama muestra una programación referida a una jornada estándar, divide las ocho horas en intervalos de media hora para que el operario sepa en todo momento que debería estar haciendo. Debido a las características del producto y de las relaciones de precedencia entre procesos es posible que en momentos determinados de la jornada un operario no tenga ningún proceso asignable, debido a que por ejemplo no se han finalizado los procesos cuyos productos se necesitan para los siguientes procesos. Esta situación de no disponibilidad de procesos a asignar es una fuente de despilfarro (ya que el operario no está aportando valor al producto) y, por lo tanto, debe ser minimizada. Por lo tanto, esta herramienta es muy útil cuando se simulan planes de producción cambiando las variables de entrada ya que muestra de una forma muy visual los resultados de dichos cambios y permite analizar las posibles medidas que minimizan esos tiempos no productivos. Por ejemplo se podría analizar el plan de procesos y los espacios de trabajo disponibles llegando a la hipótesis de que añadir un nuevo espacio de trabajo de soldadura minimizaría el tiempo no productivo, para comprobar la hipótesis sólo sería necesario cambiar la variable de número de espacios de trabajo de soldadura, ejecutar el algoritmo y comprobar los cambios en el diagrama de fabricación de Gantt.

El segundo conjunto de información contenida en este apartado consiste en los modelos de registro de error, tanto de procesos como de productos. El objetivo de estos documentos es proporcionar al operario una herramienta que le permita dejar constancia de problemas aparecidos durante la producción. El hecho de que los modelos están predefinidos tiene tres ventajas principales; en primer lugar agilizan y facilitan su generación ya que el operario solo debe preocuparse de seguir sus instrucciones de elaboración y rellenar los contenidos; en segundo lugar permiten un tratamiento más eficaz de la información contenida; y en tercer lugar permiten la predefinición de etiquetas que alertan de una forma rápida y visual a los encargados de la planificación del tipo de problema que ha aparecido. Por ejemplo se establecen diferentes etiquetas en función de si el error ha sido que no se disponían los materiales en la planta al momento de iniciar el proceso, o si el error ha sido que la documentación auxiliar estaba incompleta o si ha habido un fallo catastrófico que ha destruido el producto y se tiene que reiniciar completamente la producción de esa unidad desde el inicio. Por último, al tratarse de modelos de carácter general son aplicables a diferentes planes de producción e incluso a diferentes productos.

#### **4.6.4. Instrucciones de fabricación**

Las instrucciones de fabricación son el compendio de documentos que se suministran al operario para la realización de las operaciones que componen el proceso. El principal de estos documentos es la metodología del proceso que consiste en una feature inherente al proceso que contiene la descripción de todas las acciones que deben llevarse a cabo, de forma secuencial, para finalizar un proceso. Además incluye la lista de materiales, equipos y documentación auxiliar que el operario debe preparar antes de iniciar las operaciones. Por último también incluye los resultados esperados, ya sean productos, documentos o residuos, y los estándares y metodologías para realizar los controles de calidad. El objetivo de la metodología es que sea totalmente autocontenida, es decir, tan solo se requiera ese



documento, y reunir todo lo especificado en él, para realizar el proceso completo. Esto es así para no depender en ningún momento de los conocimientos y creatividad del operario, las instrucciones de fabricación son tan detalladas que cualquier operario, con la formación técnica apropiada para realizar las operaciones, debería ser capaz de realizar el proceso con unas calidades resultantes equivalentes (cumpliendo así con el precepto de *lean manufacturing* de no depender de la creatividad del operario).

La documentación de apoyo es un listado de toda la información auxiliar que requiere el operario para realizar el proceso. Esta información puede ser referente al propio proceso como serían los diagramas de montaje o los pinouts de los conectores o puede ser referente a los componentes como sería el caso de los datasheets.

#### **4.6.5. Planificación capacidades productivas**

Este apartado agrupa los tres principales elementos independientes al producto que limitan el volumen de producción. Se entiende como equipos al conjunto de objetos, ya sean mecanizados o no, que los operarios emplean para la realización de una operación, su principal característica es que no son consumidos durante la operación y tienen un amplio espectro de aplicación. La definición de las diferentes categorías de equipos se encuentra en el apartado de estandarización de procesos. En este documento se establece la lista completa de equipos junto con sus características específicas como son los manuales y tiempos programados de mantenimiento. Por último se establece el calendario de disponibilidad de maquinaria que indica cuándo una máquina está disponible, está siendo utilizada o está en mantenimiento. Sin embargo se ha establecido que cada máquina está asignada exclusivamente a una estación de trabajo y no se realizará mantenimiento preventivo hasta la revisión de la planificación de la producción, por lo tanto, el calendario de disponibilidad de maquinaria es virtualmente idéntico al calendario de disponibilidad de estaciones de trabajo. Aunque sean idénticos en esta etapa se mantiene la gestión separada de la información porque en futuras revisiones de la planificación de la producción podría interesar incluir varios espacios multipropósito que compartan equipos.

La gestión de las estaciones de trabajo consiste en un documento que define y delimita los espacios disponibles en la planta productiva para realizar los procesos. Aplicando la filosofía de trabajo de las 5s (un precepto de *lean manufacturing*) se asigna un espacio para cada tarea y cada tarea será desarrollada exclusivamente en su espacio. Cada estación de trabajo debe contener todos los equipos necesarios para la realización de la tipología de procesos para la cual fue ideado, particularizando para un ejemplo, la estación de trabajo de soldadura contiene un soldador, pese a ser móvil no se utiliza ese soldador en otra estación y todos los procesos que requieran soldadura deben ser llevados a cabo en la estación de soldadura. Por lo tanto, cada espacio de trabajo tendrá asignada la lista de equipos que le corresponden. Por último se define el calendario de disponibilidad de estaciones de trabajo donde se especifica cuándo están disponibles los espacios y cuándo están siendo ocupados por procesos o mantenimiento.

La gestión del personal contiene el listado de todos los operarios, junto con su nivel de conocimientos técnicos, y el calendario de disponibilidad de personal que indica cuándo un

operario está disponible para realizar un proceso. Este calendario de disponibilidad también tiene en cuenta los periodos vacacionales.

#### **4.6.6. Proceso**

La definición del proceso y de todos sus contenidos se encuentra en el apartado de estandarización de procesos. Sin embargo a nivel de contextualización es útil visualizar el flujo de acciones (imagen 10) que debe realizar un operario para realizar un proceso.

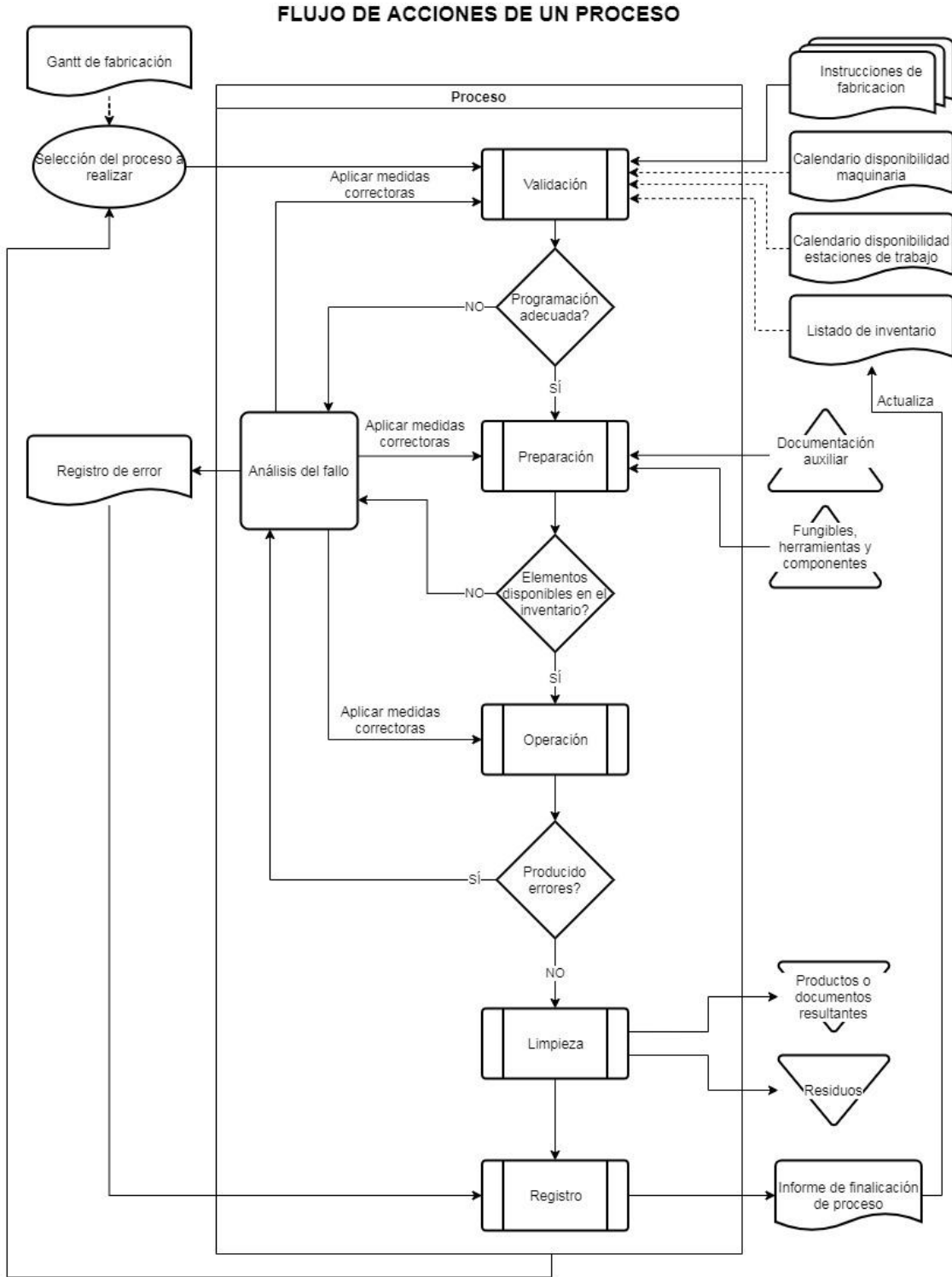


Imagen 10 - Flujo de acciones de un proceso

## 4.7. Algoritmo de planificación de la producción

### 4.7.1. Sistema

La herramienta de Google Drive Sheets es muy completa y permite la realización de listados con referencias cruzadas entre diferentes documentos que automatizan los procesos de actualización, sin embargo, no permite la secuenciación de instrucciones ni el establecimiento de bucles lógicos y sin esas herramientas no es posible el procesamiento de la información referente al producto y la planta productiva para obtener el plan de producción. Por ese motivo se recurre al uso de herramientas de programación que sí permiten realizar algoritmos de tratamiento de la información. Concretamente se decide utilizar Octave (también denominado GNU Octave) que consiste en un programa y lenguaje de programación especializado en realizar cálculos numéricos. El uso de Octave (considerado el equivalente libre de MATLAB) en lugar de software específico de planificación de producción permite un mayor grado de personalización y una considerable reducción de costes ya que es un programa de uso gratuito.

### 4.7.2. Funcionamiento

El algoritmo toma de entrada las listas de procesos, componentes, estaciones de trabajo, cantidad de unidades solicitadas y número de operarios disponibles. El sistema de ordenación del algoritmo es realizar barridos de la matriz de información de los procesos comprobando el estado de las restricciones. Cuando localiza un proceso que no tiene restricciones lo asigna a un trabajador disponible. Que no tenga restricciones implica que sus precedentes están terminados, que existe una estación de trabajo disponible para su realización y que no se haya alcanzado el máximo de trabajadores paralelos. Por último tiene en cuenta las necesidades de materiales para generar calendarios de compras de componentes en función de la programación de operaciones.

Por lo tanto, las variables de entrada del algoritmo son definidas en primer lugar en los diferentes documentos del plan de producción usando Google sheets, a continuación se realiza una migración de los datos al algoritmo, después se ejecuta el código y finalmente se extraen los datos ordenados para realizar una nueva migración a Google Sheets donde se visualiza toda esa información en forma de gráficas. A continuación se expone paso por paso cómo funciona y las variables que intervienen en su cálculo especificando entre paréntesis en que software se está trabajando en ese punto.

#### 1. Establecer la matriz de estaciones de trabajo (Google Sheets)

Del calendario de disponibilidad de las estaciones de trabajo se genera una matriz que establece la lista de estaciones de trabajo disponibles y su cantidad. No obstante debido a que no existen pedidos previos para simplificar el código en las etapas iniciales de pruebas no se utiliza el calendario de disponibilidad sino solo la lista de estaciones de trabajo existentes, es decir, se asume que todas están disponibles mientras no haya pedidos en producción. No se establece la matriz de disponibilidad de maquinaria al estar totalmente

idéntica a la disponibilidad de estaciones de trabajo, en otras palabras, se considera que si una estación de trabajo está disponible la máquina ligada a ella también lo está.

## **2. Establecer la lista de operarios disponibles (Google Sheets)**

Se genera la matriz a partir del calendario de disponibilidad de operarios. Sin embargo, al igual que con las estaciones de trabajo, al no existir pedidos previos tan sólo se establece el número de operarios que trabajarán en la producción del pedido en cuestión. Se asume que todos los operarios pueden realizar todos los procesos.

## **3. Generar la matriz de información de procesos (Google Sheets)**

Esta matriz es el núcleo del algoritmo y consiste en la reunión y organización de la información de todos los procesos que participan en la fabricación del producto, para poder organizar dicha información es fundamental la estandarización de los procesos, de ese modo se puede transformar cada una de sus características internas en variables numéricas. Cada una de las filas de esa matriz representa un proceso y las columnas representan el conjunto finito de características que definen dicho proceso, concretamente las entradas dependientes, los features y los tiempos. Las características (columnas) de la matriz de información de procesos son las siguientes:

- Código del proceso, se extrae la componente numérica del código alfanumérico del proceso, al tratarse de una matriz exclusiva de procesos la primera parte del código no es necesaria.
- Estado, se asigna el estado de “en espera”.
- Las relaciones de precedencia entre procesos, son las entradas dependientes que tiene cada proceso, en estas columnas se introducen los códigos de los procesos que deben estar finalizados antes de iniciar ese proceso. Actualmente el algoritmo procesa la asignación de hasta cinco precedentes por cada proceso, es decir, que un proceso puede requerir la completación de un máximo de otros cinco para poder considerarse disponible para su asignación a un operario. Este número se ha considerado de forma totalmente arbitraria, en cualquier momento se puede modificar fácilmente el código para que acepte mayor número de precedentes. Un proceso podría no tener relaciones de precedencia con otros procesos, eso querría decir que dicho proceso podría realizarse en cualquier momento independientemente de en qué punto se halle la producción. Estas relaciones de precedencia establecen la primera restricción.
- Las relaciones de necesidad de componentes, se dispone de doce columnas para asignación de componentes, es decir, un proceso puede requerir de un máximo de doce componentes para poder ser realizado. Por otro lado, la asignación de componentes es uno a uno, eso quiere decir que una columna de componente representa una única unidad, en caso de necesitar por ejemplo dos conectores para un proceso se debería introducir el mismo código de componente en dos columnas distintas. Ampliar la matriz para que acepte más componentes o agrupe componentes repetidos necesarios para un mismo proceso es trivial en el código, no se ha hecho porque alarga los tiempos de procesamiento y actualmente se está en la fase de comprobación de resultados no de aumento de detalle. En cada columna se

introduce el código correspondiente al componente que está definido en la matriz de información de componentes que se desarrolla más adelante.

- Las relaciones de necesidad de fungibles, actualmente la matriz tiene disponibles doce columnas para la asignación de códigos de fungibles. Sin embargo, el procesamiento de los fungibles no ha sido implementado, esto quiere decir que no se ha definido la matriz de información de fungibles y el algoritmo no proporciona calendarios de aprovisionamiento de fungibles. Se ha decidido no implementar en esta fase del desarrollo ya que generalmente los fungibles tienen menor coste, ocupan menos espacio de inventario y tienen tiempos de entrega más cortos, en otras palabras, no son tan críticos. Una vez comprobado que el algoritmo funciona y que el sistema es viable y robusto se implementarán los fungibles en el algoritmo.
- Espacio, en esta columna se introduce el código correspondiente al espacio de trabajo requerido para realizar el proceso. La disponibilidad de espacio define la segunda restricción que emplea el algoritmo.
- subcontratado, indica si el proceso se realiza mediante subcontratación y, por lo tanto, se convierte en un componente. Por ese motivo antes de marcar cualquier proceso como subcontratado debe haber sido incluido en la matriz de información de los componentes.
- Tiempo (Horas), es el número de horas que consume un operario para llevar a cabo el proceso en cuestión, este tiempo incluye todas las fases del proceso desde la preparación hasta la limpieza pasando por la operación. No se admiten procesos en la matriz sin un tiempo asignado aunque para las primeras unidades se emplean estimaciones. El formato es numérico con un decimal y en incrementos de media unidad, es decir, el tiempo mínimo que se considera para la realización de cualquier proceso o tarea estipulado en la matriz es de media hora. Es posible cambiar el código para aceptar resoluciones mayores pero no sería un cambio trivial. Esto define la tercera restricción.
- Prioridad, se trata de una etiqueta utilizada para crear una pseudo optimización manual. Del conjunto total de procesos no restringidos, el algoritmo asigna el primero que encuentra, sin embargo, al introducir el parámetro de prioridad, el algoritmo pasa a asignar el de la máxima prioridad del conjunto (en caso de existir múltiples procesos no restringidos con la misma prioridad asigna el primero que encuentra). Un ejemplo de aplicación sería por ejemplo en el caso de que haya un proceso cuyos componentes tengan un tiempo de entrega muy largo, aunque haya múltiples procesos disponibles para asignar es prioritario terminar ese ya que si se produjese un fallo y hubiese que pedir los componentes de nuevo se podrían realizar el resto de procesos mientras se espera su llegada.
- Max operarios en paralelo, ciertos procesos permiten que varios operarios trabajen al mismo tiempo, por ejemplo en un ensamblaje, aunque el número de operarios por defecto es uno. Además este parámetro se combina con la prioridad, es decir, el algoritmo ordena los procesos por prioridad y luego asigna tantos trabajadores como operarios en paralelo acepte el proceso. El número máximo de operarios define la cuarta restricción.
- Tiempo de espera, algunos procesos tienen tiempos de espera donde el operario no está trabajando pero el proceso no ha terminado, por ejemplo el secado de los



pegamentos o el curado de la resina. Este parámetro tiene en cuenta ese hecho para liberar al operario pero manteniendo las restricciones de precedencia de otros procesos hasta que termine su tiempo de espera.

- Aeronave, como el algoritmo tiene en consideración la fabricación paralela de distintos productos (siempre y cuando sean idénticos) es necesario el uso de una etiqueta para distinguir qué proceso corresponde a qué producto. Inicialmente este parámetro es uno y tan sólo varía si el pedido contiene más de una unidad.

#### 4. Generar la matriz de información de los componentes (Google Sheets)

La organización de la información correspondiente a los componentes es análoga a la organización de los procesos, las características de cada componente se extraen del listado de inventario. Esta información se utiliza para el establecimiento del calendario de órdenes de compra en función de la secuenciación de procesos obtenida tras el procesamiento de la matriz de información de procesos. La información se organiza matricialmente donde cada fila indica un componente y todas sus características asociadas. A continuación se exponen dichas características:

- Código, a cada componente se le asigna un código identificador único alfanumérico, dicho código es el que se introduce en las columnas correspondientes de la matriz de información de los procesos en sus respectivas columnas de necesidades de componentes.
- Código proveedor, usando la misma filosofía del código identificador de componentes se asigna un código a cada proveedor, se asume que un componente tiene solo un proveedor, aunque es posible cambiar de proveedor entre pedidos.
- Tiempo de entrega (días), el tiempo en días que pasa desde que se realiza el pedido hasta que llega a la planta. En caso de que este tiempo pueda fluctuar se puede asignar un tiempo de entrega mayor para que el pedido se realice con anterioridad, no obstante esto podría entrar en conflicto con las capacidades máximas del inventario. Actualmente el algoritmo está configurado para establecer el calendario de pedidos de tal forma que los componentes lleguen justo el día anterior al que van a ser necesarios pero ese margen es fácilmente modificable.
- Disponible en inventario, cantidad del componente que se encuentra inventariada en el momento en el que se realiza la planificación de la producción. El algoritmo en primer lugar simula la extracción de los componentes del inventario hasta que se terminan y entonces empieza a emitir órdenes de compra. De ese modo se optimiza el tiempo ya que se realiza un barrido de los procesos secuencial en el tiempo, por ejemplo, si tanto el proceso A que se realiza el día 1 como el proceso B que se realiza el día 5 requieren sendas unidades del componente A (que tiene un tiempo de entrega de 10 días) pero se dispone de una unidad almacenada no se emitirá la orden de compra hasta que sea necesario para el proceso B, es decir, el algoritmo genera automáticamente un calendario donde se indica al operario que debe hacer el pedido de componente A cinco días antes del proceso A y, por lo tanto, 10 días antes del proceso B.
- Máximo inventariable, las unidades que se pueden tener almacenadas como máximo, crea una restricción a la hora de realizar pedidos ya que el algoritmo agrupa

los pedidos del mismo tipo de componente. De este modo si el proceso A, el B y el C separados en el tiempo 2 días cada uno requieren todos el componente A y el máximo inventariable es mayor a la cantidad necesaria se realiza un único pedido para que llegue justo el día de antes del proceso A. Sin embargo si es menor el máximo inventariable se harán diferentes pedidos que lleguen cada uno justo antes de su correspondiente proceso.

- Cantidad necesaria, este parámetro indica la cantidad de unidades del componente en cuestión que hace falta para la fabricación de una aeronave (por ejemplo en el caso de que todos los procesos que requieren este componente requieren dos unidades). Este parámetro se volverá obsoleto si se introducen cantidades específicas de componentes para cada proceso.
- Código proceso subcontratado, cuando un proceso se convierte en componente tendrá su propio código de componente pero además en esta columna se introduce su código de cuando era un proceso, de ese modo el algoritmo puede establecer la interacción apropiada (eliminar dicho proceso de los precedentes de todos los demás y convertirlo en necesidades de componente).
- Cantidad necesaria total, en caso de que el pedido incluya más de una aeronave se establece las necesidades totales de materiales. No hay un componente asignado a un proceso o aeronave en concreto (ya que todos son el mismo tipo de producto) sino que se establece una cantidad total de dicho componente requerida para satisfacer a todos los procesos.

## 5. Migración de la información (Sheets -> Octave)

Hasta el momento las matrices se han generado todas las matrices utilizando Google Sheets, esto permite que unas hojas tomen sus datos de otras y que todo el sistema tenga una entrada unificada de datos, por ejemplo si se actualiza la lista de espacios incluyendo una nueva estación de trabajo en su correspondiente hoja, automáticamente estará disponible para asignar en la hoja correspondiente a la matriz de información de procesos. Cada una de estas listas y matrices genera automáticamente un array de datos que se debe introducir manualmente en el algoritmo de octave. Por último se introduce manualmente el número de unidades a fabricar.

## 6. Ejecución del algoritmo de planificación de la producción (Octave)

Una vez copiados todos los valores de las matrices tan solo hay que ejecutar y esperar a que el programa termine su procesamiento (que puede durar varios minutos si el número de unidades que fabricar es elevado). Como se ha definido un sistema productivo cuya unidad elemental es el proceso (véase los contenidos de la planificación de la producción) el núcleo del plan de procesos será la secuenciación de procesos y, por lo tanto, el algoritmo procesa de forma distinta la información de los procesos y la información de sus necesidades materiales. La lógica interna del algoritmo consiste en una asignación de procesos a operarios mediante la selección del proceso disponible de máxima prioridad, se considera que el proceso está disponible cuando todas sus restricciones han sido eliminadas. Después redefine la matriz de información de procesos teniendo en cuenta los procesos terminados y, por lo tanto, eliminando las restricciones de precedencia. De ese modo va generando proceduralmente una matriz, sin tener en cuenta sus necesidades materiales,

que vincula procesos a operarios en instantes de tiempos concretos, dicha matriz dará forma al Gantt de fabricación. En segundo lugar extrae que componentes necesita cada proceso cada día y lo compara con lo disponible en el inventario, si no está disponible le suma el tiempo de llegada y así obtiene que día debe realizarse el pedido. Después compara y agrupa los pedidos de componentes idénticos, si la capacidad de almacenaje es suficiente, estableciendo así la matriz de información que dará forma al Gantt de aprovisionamiento. Por último unifica toda la información para establecer la matriz de información que dará forma al calendario del plan de producción.

Aunque la ejecución del algoritmo sea automática es necesaria la monitorización ya que al tratarse de las etapas iniciales de aplicación es muy posible que aparezcan errores. Algunos de esos errores están contemplados en el código del algoritmo para informar al encargado de la planificación del origen del error (típicamente errores de formato de datos de entrada).

## 7. Generación de gráficas (Octave -> Sheets)

El algoritmo genera automáticamente tres matrices que se introducen en sendas hojas de Google Sheets ya preparadas obteniendo las siguientes gráficas:

### Diagrama de Gantt de fabricación

Establece la secuenciación de los procesos para cada operario de una forma muy visual. Establece que operario debe realizar qué proceso perteneciente a qué aeronave, cuándo debe comenzar y el tiempo que debe llevarle terminarlo. Además tiene una columna específica que permite llevar un seguimiento de los procesos terminados. Este diagrama no tiene fechas, es cronológicamente secuencial, es decir establece los procesos que se deben realizar en cada día de fabricación sin tener en cuenta el calendario. En la imagen 11 se puede ver como el operario "01 - Lucas" ha terminado tres procesos y va a comenzar el cuarto del primer día de fabricación. En este ejemplo el número de aeronaves solicitadas fue de cinco. Se puede apreciar cómo el algoritmo ha agrupado los procesos, el operario realizará el proceso "PR56" correspondiente a todas las aeronaves antes de comenzar otros procesos.

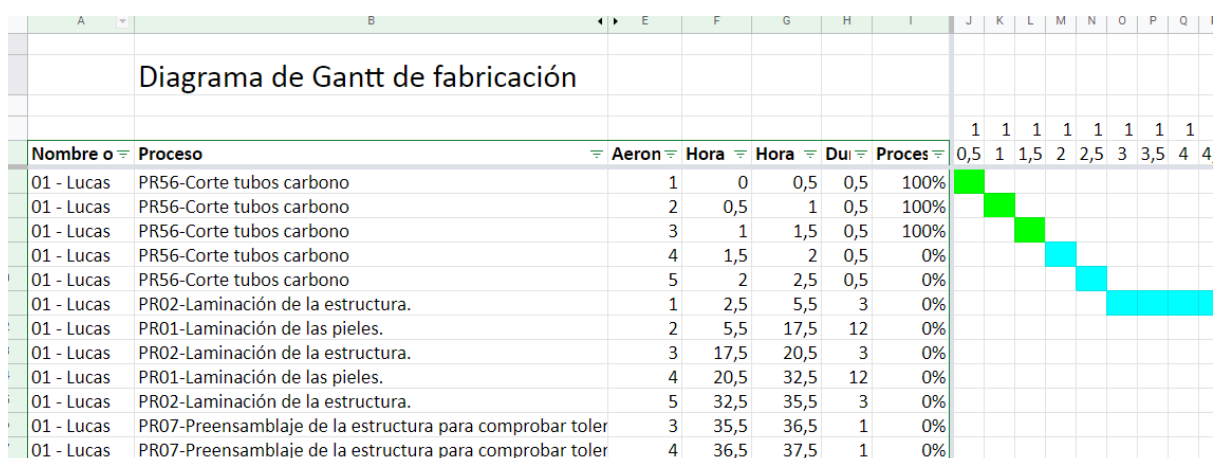


Imagen 11 - Diagrama de Gantt de fabricación

## Diagrama de Gantt de aprovisionamiento

Establece el momento en el que tienen que realizarse los pedidos. Además muestra los tiempos de fabricación de cada aeronave para mejor referencia visual. En el ejemplo mostrado a continuación (imagen 12) se puede apreciar cómo la aeronave 1 se comienza a fabricar el día 10 y se termina el día 18, la aeronave 2 también comienza el día 10 pero termina el día 19, esto es así ya que los operarios se concentran en terminar una aeronave aunque ciertos procesos pertenecientes a múltiples aeronaves se realizan en paralelo. También se puede apreciar como por ejemplo el componente “CP01 - Piezas SLS” debe pedirse el día 11 (en verde), llega a la planta el día 18 (en azul), contiene 11 unidades y el primer proceso que necesita ese componente es el “PR28” que comienza el día 19. Los componentes que tienen el mismo día de pedido que de llegada son porque están disponibles en el inventario.

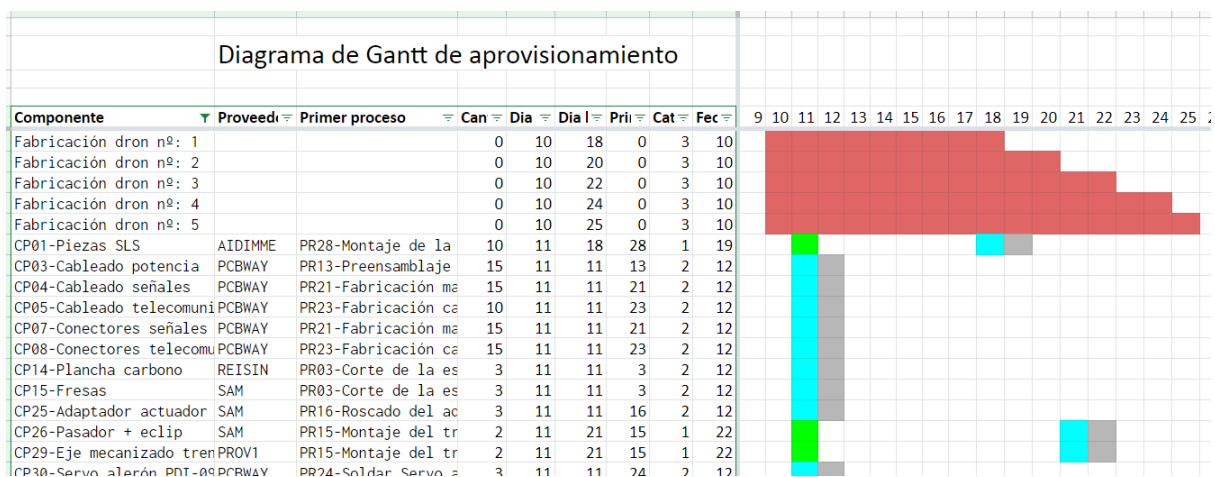


Imagen 12 - Diagrama de Gantt de aprovisionamiento

## Calendario del plan de producción

Establece la visión más general y completa de toda la planificación de la producción de un pedido en concreto. Así como los Gantt de aprovisionamiento y fabricación no tienen fechas concretas, solo establecen programaciones en días de trabajo, el calendario incluye fechas y otros elementos como los fines de semana o los festivos. Proporciona información sobre los procesos, con el nombre del proceso, la aeronave correspondiente, el operario, la fecha de inicio y de fin del proceso y una columna especial dedicada a controlar si se ha finalizado un proceso. Los procesos pendientes se resaltan en azul y si ya deberían haber sido completados se resaltan en rojo. En el ejemplo mostrado (imagen 13) se consideró que la orden de inicio de la producción se dio el día 3 de septiembre, el día en que se consultó el calendario era el 7 de septiembre (resaltado en color salmón) y solo los primeros 4 procesos se habían terminado, por ese motivo el resto se marcan en rojo.

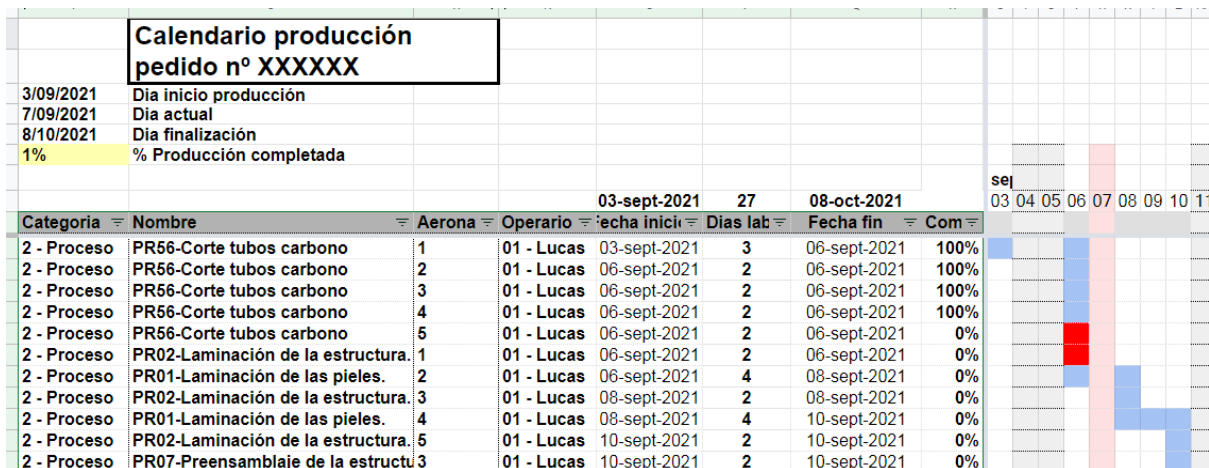


Imagen 13 - Calendario del plan de producción (Inicio producción)

Un dato interesante, como se muestra en la imagen 14, es que cuando a un operario no se le puede asignar ningún proceso (porque no hay suficientes procesos sin restricciones para todos los operarios) se resalta en amarillo. Esto proporciona una poderosa herramienta de análisis y simulación, se pueden modificar las variables y ver cómo se afecta a los tiempos totales, se puede localizar un día en concreto y ver qué procesos se realizan ese día y el siguiente, de ese modo se podría averiguar entre otras cosas si hay un cuello de botella debido a falta de espacios de trabajo.

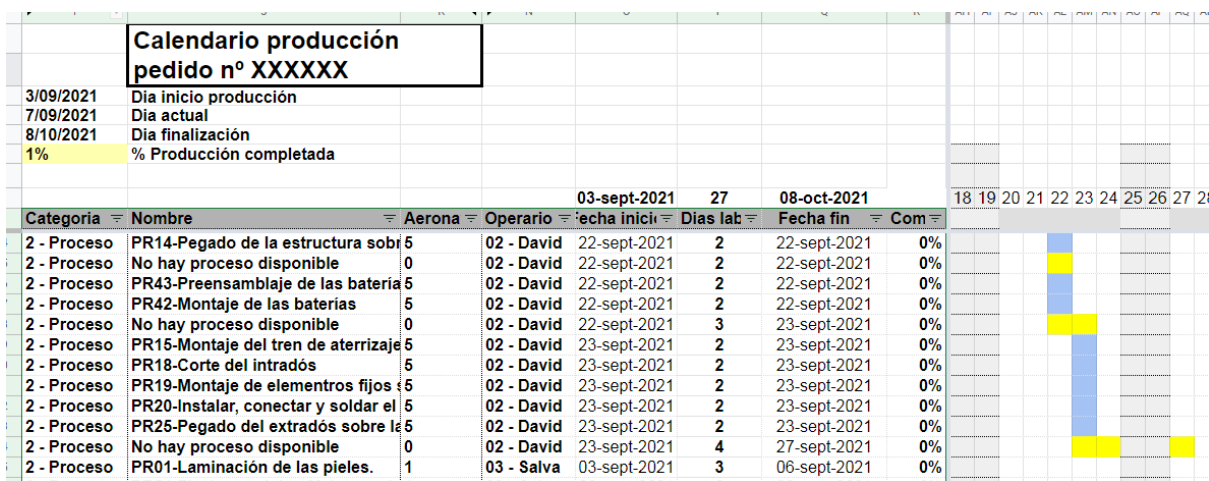


Imagen 14 - Calendario del plan de producción (Detalle tiempos no productivos)

Las fechas de emisión de órdenes de aprovisionamiento se resaltan en verde claro y las fechas de recepción de materiales en verde oscuro, y se resalta en rojo si ya ha pasado la fecha de emisión de la orden de aprovisionamiento pero no se ha marcado como realizado el pedido. También se resaltan en verde claro las fechas programadas de retirada de componentes del inventario. Por lo tanto, define una herramienta muy visual para llevar el registro de posibles errores o retrasos.

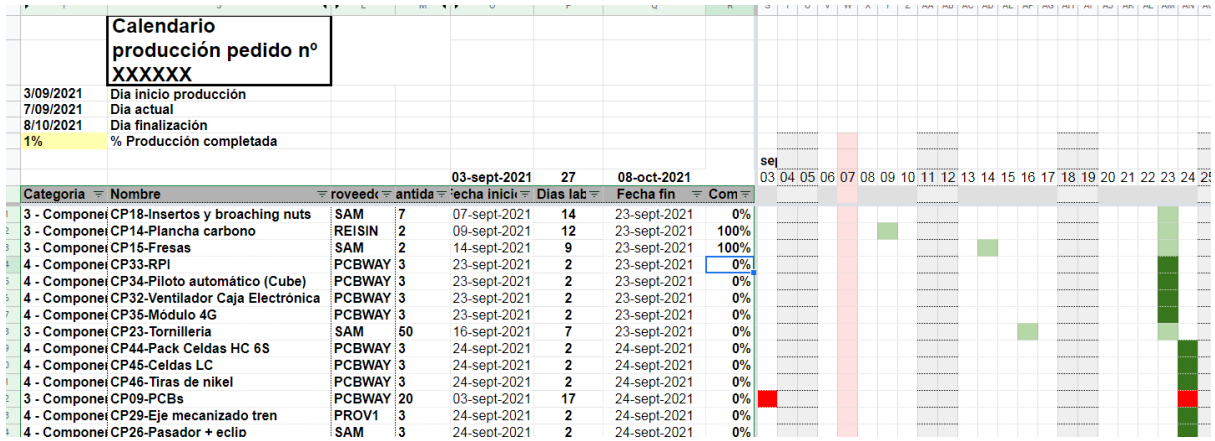


Imagen 15 - Calendario del plan de producción (Detalle aprovisionamientos)

Por último también se incluyen las fechas de fabricación de cada una de las aeronaves, es decir los días transcurridos desde que se realiza el primer proceso vinculado a dicha aeronave y se realiza el último proceso, estas fechas vienen marcadas en azul oscuro. Se utiliza como referencia para el análisis de cuánto se produce en paralelo y cuánto secuencialmente así como establecer las fechas a partir de las cuales se pueden enviar unidades finalizadas.

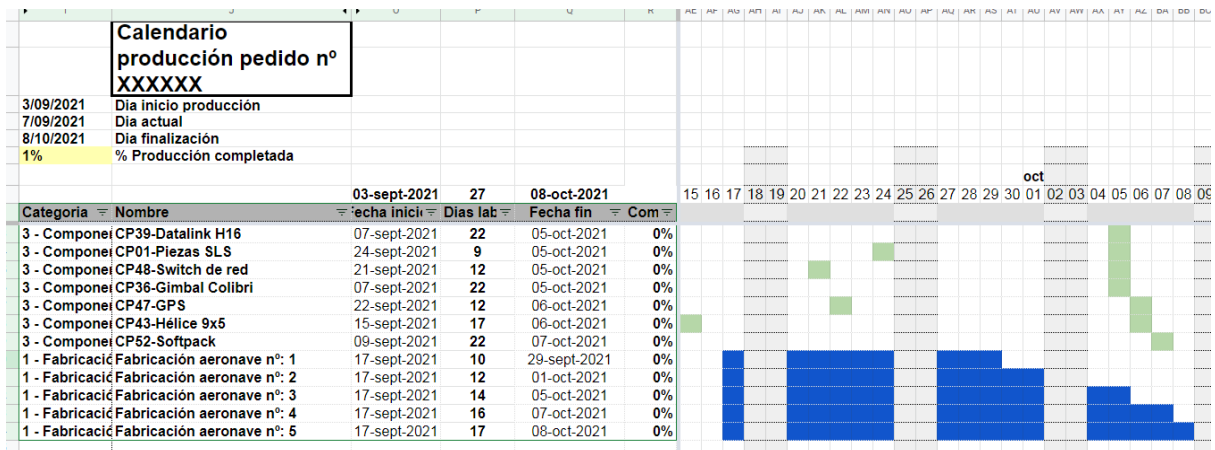


Imagen 16 - Calendario del plan de producción (Detalle fabricación aeronaves)



## 5. Conclusiones

El presente documento contiene la información básica necesaria para poder establecer el sistema de gestión de la información para la planificación de la producción, describe los diferentes apartados que componen la información contenida en el plan de producción y particulariza para el caso de UAV Works. Por lo tanto, se considera cumplido el objetivo principal; además, a lo largo de todo el proyecto se han expuesto los diferentes preceptos de *lean manufacturing* aplicados por lo que también se cumple con el objetivo particular número 4.

El algoritmo de planificación de la producción permite generar automáticamente la información del plan de producción en función de las relaciones de dependencia entre procesos, el número de operarios asignados, la lista de componentes necesarios, el número de unidades solicitadas, la lista de inventario y la lista de estaciones de trabajo. Esta herramienta permite el análisis de las capacidades productivas actuales y la simulación de distintos escenarios. Con ello se cumple a nivel teórico con el objetivo particular número 6, su validación completa se realizará cuando el algoritmo se aplique a un pedido real.

El soporte seleccionado para la gestión de la información (Google Drive Sheets) es de uso gratuito y no requiere formación técnica. La herramienta seleccionada para la programación del algoritmo (Octave) también es gratuita y tampoco requiere conocimientos técnicos para su uso, tan solo seguir unas instrucciones muy específicas. El tratamiento de los errores producidos en el algoritmo sí que requiere formación técnica y la ampliación de las capacidades de la herramienta también requiere conocimientos de programación. No existe coste económico asociado al aprovisionamiento del software por lo que el objetivo particular número 2 está completamente cumplido, tampoco es necesario el conocimiento técnico para el uso del software, pero sí para su correcta puesta en marcha y corrección de errores, por lo tanto, el objetivo particular número 1 está cumplido parcialmente.

Al tratarse de sistemas de gestión definidos y generados ad hoc para la empresa se tiene un control total sobre sus características y limitaciones por lo que es posible implementar modificaciones o ampliaciones en función de las necesidades que puedan aparecer, con ello se cumple con el objetivo particular número 3. Una lista de posibles modificaciones futuras se encuentra en el ANEXO II.

La estructura de la gestión de la información para la planificación de la producción ha sido diseñada manteniendo unos criterios generalistas, esto quiere decir que no se han especificado los contenidos, con ello se ha conseguido un sistema que puede ser aplicable a distintos productos similares o incluso a otras empresas con características de sistema productivo similares a UAV Works. Este amplio rango de aplicabilidad justifica el cumplimiento del objetivo particular número 5.

## 6. Valoración Económica

En el presente capítulo se muestra el cálculo de los costes asociados a la realización del TFM. El desglose de los costes está basado en las horas que se han dedicado a cada una de las actividades llevadas a cabo y en el coste asociado de los recursos empleados en cada actividad. No existen costes asociados a compras de licencias, equipos y consumibles de oficina ya que uno de los principales objetivos del proyecto es que tenga el mínimo coste asociado.

Actividades:

1. Análisis del producto y el estado inicial de los recursos. Corresponde a la etapa de recopilación de información y de delimitación del alcance y objetivos de la gestión de la información de la planificación de la producción.
2. Desarrollo de la estructura de gestión de la información para la planificación de la producción. Consiste en la fase de delimitación de los contenidos de la planificación de la producción y de creación de la estructura organizativa.
3. Programación del algoritmo de planificación de la producción. En esta actividad se engloba tanto las tareas de programación como las pruebas iniciales para los datos proporcionados del VALAQ 120 PATROL.
4. Redacción de la memoria final. Consiste en la consolidación de toda la información recopilada y analizada junto con las estructuras de gestión propuestas.

Recursos empleados:

1. Ingeniero: Autor del proyecto, encargado de realizar todas las actividades que lo constituyen. Coste estimado de 30 €/hora.
2. Ingeniero: Personal de apoyo para las tareas de recopilación de la información. Coste estimado de 30 €/hora.
3. Equipo informático: Ordenador de trabajo utilizado para la realización de todas las actividades del proyecto. Coste estimado de 0,08 €/hora.

El desglose de costes por actividad y recurso es el siguiente:

Actividad	Recursos	Unidades (horas)	Coste unitario (€/hora)	Coste (€)
Actividad 1	Ingeniero - Autor	40	30	1200
Actividad 1	Ingeniero - Apoyo	20	30	600
Actividad 1	Equipo informático	60	0,08	4,8
Actividad 2	Ingeniero - Autor	80	30	2400
Actividad 2	Ingeniero - Apoyo	10	30	300
Actividad 2	Equipo informático	90	0,08	7,2
Actividad 3	Ingeniero - Autor	40	30	1200
Actividad 3	Equipo informático	40	0,08	3,2
Actividad 4	Ingeniero - Autor	80	30	2400
Actividad 4	Equipo informático	80	0,08	6,4

Tabla 1 - Desglose de costes por actividad y recurso

Por lo que la valoración económica del proyecto es la siguiente:

Tiempo de realización total	Coste total (sin IVA)	Coste total (con IVA)
240 horas	8121,6 €	9827,14 €

Tabla 2 - Valoración económica externa

Sin embargo cabe destacar que esta valoración se corresponde al coste de hora de ingeniero junior en el mercado. Al ser un proyecto que se ha realizado internamente en la empresa el coste asociado a un ingeniero es de 14 €/hora por lo que la valoración económica interna quedaría de la siguiente forma:

Tiempo de realización total	Coste total asociado al proyecto
240 horas	3801,6 €

Tabla 3 - Valoración económica interna

## 7. Bibliografía

- Soporte digital GNU Octave. (2020). GNU Octave (version 6.3.0). Recuperado el 5 de agosto del 2021 de <https://octave.org/doc/v6.3.0/>
- Ayuda de Editores de Documentos. (2021). Ayuda para editores de documentos Google Sheets. Recuperado el 12 de julio del 2021 de <https://support.google.com/docs/?hl=es#topic=1382883>
- diagrams.net - free flowchart maker and diagrams online. (s. f.). Generador de diagramas en línea. Recuperado el 18 de agosto del 2021 de <https://app.diagrams.net/>
- Norma ISO 5807:1985. Information processing – Documentation symbols and conventions for data, program and system flowcharts, program network charts and system resources charts

# 8. ANEXO I: Simbología diagramas de flujo

## Simbología diagramas de flujo (ISO 5807)





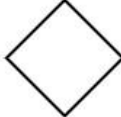


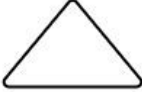
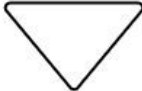


	Proceso: representa una operación o conjunto de operaciones en las variables de entrada con el objetivo de realizar una transformación y obtener unas variables de salida. Dicha transformación puede ser física o virtual (sobre la información).
	Proceso predefinido: representa un proceso cuyas operaciones o acciones internas han sido totalmente especificadas en otra parte del documento
	Línea de flujo: Muestra el orden de operación de los procesos.
	Línea de flujo de información: Muestra el orden de transmisión de información exclusivamente. Representa acciones de solo lectura de datos.
	Decisión: Representa una operación condicional booleana (Si/No) que determina el camino que tomará el flujo.
	Documento: Representa un documento específico que interactúa con el flujo del proceso. Puede tratarse de solo la lectura de la información contenida en el documento (línea discontinua) o la creación o modificación de documentos (línea continua)
	Conjunto de documentos: Representa un conjunto de documentos agrupado bajo una misma temática o funcionalidad.
	Extracción: Representa una acción de retirada de productos físicos desde su lugar de almacenaje y su traslado a la estación de trabajo.
	Almacenaje: Representa una acción de recogida de productos físicos en la estación de trabajo para su subsiguiente traslado al espacio dedicado de almacenamiento.
	Inicio/fin: Marca el punto y condición de inicio o de finalización del proceso. En caso de procesos de carácter cíclico el fin y el inicio coinciden.
	Introducción manual de datos: Delimita un proceso de gestión de la información que debe realizarse de forma manual.

Imagen 16 - Calendario del plan de producción (Detalle fabricación aeronaves)

## 9. ANEXO II: Mejoras en el algoritmo de planificación de la producción

A continuación se muestra una serie de posibles mejoras para el algoritmo de planificación de la producción que escapan al alcance del proyecto pero que pueden ser muy interesantes de cara a futuras revisiones de la planificación. Entre paréntesis se valorará la utilidad y dificultad de implementación de cada cambio en función de cómo está constituido actualmente el algoritmo y de las prioridades en cuanto al sistema productivo.

- Si se agrupan múltiples procesos idénticos pero pertenecientes a diferentes aeronaves su tiempo total de proceso podría reducirse debido a que comparten múltiples factores entre ellos como la preparación o el acceso al inventario. Esto se podría implementar como una feature más que especifique el ahorro estimado de tiempo. (Dificultad baja, utilidad media)
- Introducir el máximo inventariable de resultados de un proceso, esto limitaría el número de aeronaves que se pueden fabricar en paralelo, por ejemplo, si sólo se puede almacenar 5 pieles no se puede fabricar más pieles hasta que se haya terminado completamente el primer dron o hasta que sus pieles estén fuera del stock. (Dificultad alta, actualmente la gestión de precedentes es por procesos y no por productos, utilidad alta cuando se fabriquen muchas unidades en paralelo)
- Se podrían establecer restricciones de capacidades y formación de personal de forma que no se pueda asignar un proceso a un operario no formado. (dificultad baja, utilidad baja ya que se busca que los procesos estén tan bien documentados que las capacidades del operario sean secundarias)
- Actualmente no existe comprobación cruzada entre el número de operarios realizando un proceso en concreto y el espacio de trabajo asignado a ese proceso. Técnicamente podría darse el caso de que, por ejemplo, se asignasen cinco trabajadores en paralelo para el proceso de "fabricación de mazos de comunicaciones", sin embargo, en la mesa de electrónica sólo hubiera espacio para dos trabajadores. (dificultad baja, utilidad media)
- Introducir algoritmos genéticos, sustituir el sistema de prioridades por un programa que se dedique a probar diferentes combinaciones de ordenación de procesos para alcanzar la solución que menos tiempo total requiera. No obstante, este sistema se vuelve exponencialmente más lento cuantos más procesos y unidades pedidas hay mientras que el sistema actual es lineal con los procesos y las unidades, además de que permite ciertos ajustes manuales si se detectan formas de mejorar la producción (dificultad muy alta, utilidad media ya que el volumen de producción es bajo la optimización global no es mandatoria).
- Que el código tenga en cuenta si existen limitaciones de operarios mínimos que requiere un proceso. (Dificultad media, utilidad baja ya que actualmente no existen procesos que tengan restricciones de número mínimo de operarios)