



Universidad
Zaragoza

Tema 2. La estructura del producto.



La estructura del producto

En las industrias de fabricación mecánica, se fabricará un determinado producto a partir de aplicar distintos procesos a distintas materias primas y/o piezas unitarias. Típicamente, se pueden dar los siguientes casos o combinación de ellos:

-Transformación de materia prima en piezas metálicas:

Por ejemplo:

→ Fundición de metal e introducción en moldes para obtener piezas con geometría determinada.

→ Mecanizado de barras de acero.

→ estampación o plegado de formatos de planchas de acero de un espesor determinado, etc.

-Transformación de piezas unitarias de elementos comerciales*:

Por ejemplo, compra de piezas ya fabricadas en las que se requiera un acabado como la creación de taladros, acabados de tratamiento superficial, etc.

-Ensamblado y unión de piezas unitarias:

Por ejemplo, compra de piezas unitarias y subconjuntos para su ensamblaje y unión en geometría.

* En este caso, estamos considerando los elementos anteriores (planchas y barras de acero) como materia prima y no como elemento comercial, aunque existen suministros de formatos de medidas estandarizadas disponibles para su comercialización por parte de los centros de servicio que compran bobinas y cortan formatos.

La estructura del producto

El producto se fabricará de acuerdo con unos **planos constructivos** de producto, donde se especificará **datos** como:

- Si es una pieza unitaria:

- Referencia de la pieza.
- Medidas de la pieza y de sus características (con tolerancias).
- Material.
- Acabado superficial.

- Si es un conjunto de piezas:

- Referencia del conjunto.
- Referencia de las piezas que lo componen.
- Posición geométrica de montaje de unas piezas respecto a las otras (con tolerancias).
- Sistema de unión de las piezas (adhesivado, atornillado, soldadura, etc.).

Desde el punto de vista organizativo y logístico de planificación de la producción, resulta evidente la necesidad de disponer de un documento donde estructurar la información de qué piezas unitarias (que quedan definidas por sus planos) componen el producto que tenemos que fabricar. Este documento es el **BoM: Bill of Material** (o **listado de materiales**).

BOM: Bill of Materials

Definición y características

El Bill of Material o listado de materiales es un listado completo de los materiales, componentes y piezas necesarios para fabricar un determinado producto final. Este listado está **jerarquizado** en niveles (conjunto final, subconjuntos, etc.) y debe contener las **cantidades** de cada pieza que conforman el conjunto.

Una analogía frecuentemente usada para explicar la función del BoM es la de una **receta** de un plato de cocina: Los ingredientes (qué ingrediente y en qué cantidades) son necesarios para cocinar el plato, serían, en el ámbito industrial, el listado de materiales (de hecho, en algunos ámbitos se conoce al BoM como receta de fabricación).

Nota: Qué proceso ejecutar con esos materiales, en qué orden y con qué herramientas (y parámetros de esas herramientas) ejecutar esos procesos, forman parte de otro tipo de documentación que veremos más adelante: BoP (Bill of Process) y BoE (Bill of Equipment).

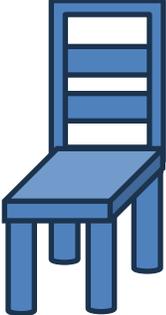
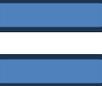
BOM: Bill of Materials

Información que debe contener

La información **mínima** que debe contener un listado de materiales es la siguiente:

Nivel: Cada material tiene nivel jerárquico. Normalmente, el nivel 0 se le asigna al producto final, el nivel 1 a los componentes o subconjuntos que forman el conjunto final, el nivel 2 a los componentes o subconjuntos que componen cada conjunto del nivel 1, y así sucesivamente.

Es habitual también referirse al Nivel 0 como Padre y a los niveles 1 como Hijos.

Nivel 0	Nivel 1	Nivel 2
Silla 	Respaldo  Asiento  Patas 	Marco  Travesaños 

Nivel	Componente	Cantidad
0	Silla	1
1	Asiento	1
1	Patas	4
1	Respaldo	1
2	Marco	1
2	Travesaños	2

BOM: Bill of Materials

Información que debe contener

- **Número de referencia o identificación:** de cada material, pieza o componente. (Ver Nota 1 en página 7 para más información).

Nota: Los subconjuntos intermedios también deben tener número de referencia, puesto que son susceptibles de ser almacenados y pedidos internamente por un proceso posterior o extraídos para un control de calidad.

En ocasiones, se generan números llamados “fantasma” para agrupar piezas que van juntas pero que no forman un subconjunto real. Por ejemplo, si en la fabricación de una lámpara hay varios casquillos (A y B) y varios plásticos protectores (1 y 2), pero los casquillos tipo A deben ir necesariamente con el plástico tipo 1, se puede optar por crear un subconjunto ficticio que agrupe A y 1 como un set, que facilite ciertos conteos, correlaciones entre piezas, generación de listas de acopio de materiales, etc.

- **Denominación de la pieza o componente:** Los componentes se identifican por una referencia única pero también por una denominación descriptiva.

- **Cantidad:** Número de piezas de ese componente necesarios para montar el conjunto. Debe tener **unidades de medida** (puede ser unidades, en caso de componentes, pero también gramos, milímetros, mililitros, etc.).

- **Descripción:** Adicionalmente, se puede incluir cualquier información o descripción que ayude a identificar y distinguir cada componente.

BOM: Bill of Materials - Codificación

Nota: el embalaje (packaging), si es un conjunto final que se expide al cliente, debe formar parte del BOM, así como cualquier etiquetado (como el marcado CE), manual de instrucciones, etc. que deba ser entregado con el producto: todos estos elementos forman parte del producto final como cualquier otro componente.

En general, cualquier material o pieza cuya demanda se deba planificar para satisfacer los planes de producción, debe tener un código y debe estar incluida en la BOM.

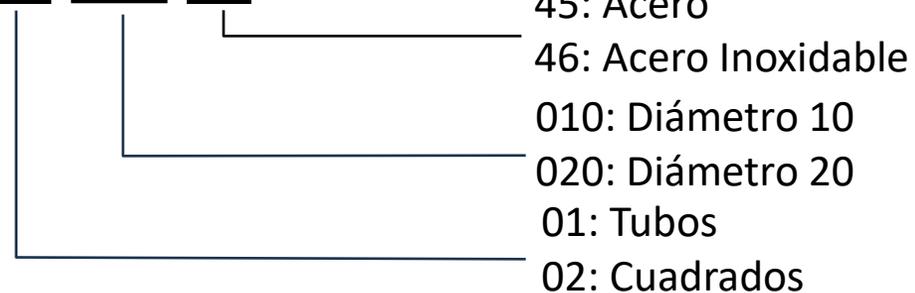
Nota 1: Número de referencia o identificación:

En la codificación de las piezas (asignación de número de referencia), se puede optar por múltiples metodologías que estructuran qué tipo de numeración se dará a las piezas:

-Números inteligentes o significativos: Los dígitos aportan información sobre la pieza. Por ejemplo, se puede reservar los 2 primeros dígitos para definir la forma del material en bruto a mecanizar, los 3 siguientes para dar información sobre el diámetro y los dos últimos para dar información sobre el material:

Ej: Formas: 01 para tubos, 02 para cuadrados; Medidas: 010 para diámetro de 10, 020 para diámetro de 20; Materiales: 45 para acero, 46 para acero inoxidable, etc.).

00-000-00



BOM: Bill of Materials - Codificación

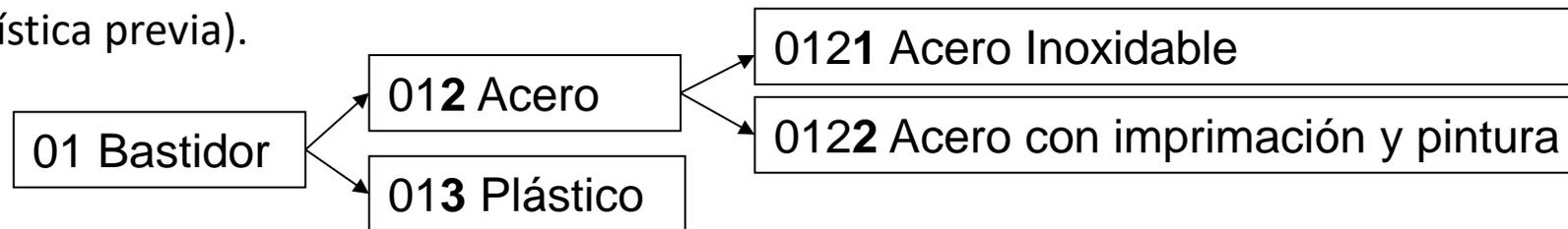
Nota 1: Número de referencia o identificación:

-Números no significativos: Números que no indican nada sobre la pieza, se otorgan de forma secuencial o con cualquier otro sistema de numeración predeterminado.

-Códigos de proveedor: Se puede incluso adoptar las referencias de compra de los componentes o materia prima para evitar traducir las referencias externas a referencias propias, aunque esta opción es de difícil adopción por la dificultad de dar cabida, en los sistemas propios de gestión de la información, a la diversidad de dígitos y nomenclaturas que se pueden encontrar cuando se compra material a más de un proveedor distinto, incluida la opción de comprar el mismo material a proveedores alternativos.

Usando esos tipos de códigos, se pueden encontrar muchas variantes y **modelos de codificación** que estandarizan la forma en las que se otorgan las referencias y los significados que estos números tienen, como, por ejemplo, entre otros muchos:

-Sistemas de codificación Monocódigos: Los números están encadenados (en una estructura de árbol) y cada uno depende de las opciones que hay dentro del anterior conjunto de números (es decir, continua o amplía la información en base a su pertenencia a una característica previa).



BOM: Bill of Materials - Codificación

Nota 1: Número de referencia o identificación:

-Sistemas de codificación Policódigos: Cada número da información sobre una característica de la pieza, de forma independiente.

-Método Opitz: Sistema híbrido en el que se codifica una pieza con 13 códigos agrupados en 3 bloques:

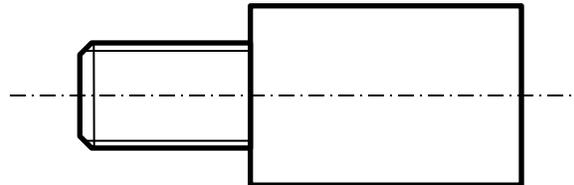
→ Los 5 primeros se usan para definir los atributos primarios (principalmente geométricos) de las piezas: Tipo de pieza, forma externa, forma interna, mecanizado de las superficies planas, agujeros, dentados y características auxiliares.

→ Los 4 siguientes: características útiles para el proceso de manufacturas (dimensión principal, tipo de material, forma de material y tolerancias.

→ Los 4 últimos: operaciones de producción y secuencia.

Supongamos por ejemplo la codificación de una pieza con las siguientes características:

Barra cilíndrica de aluminio de 30 mm de diámetro principal y de 60 mm de longitud en la que se mecaniza en un extremo un diámetro de 10 mm con una longitud de 20 y al que se realiza una rosca.



BOM: Bill of Materials - Codificación

Nota 1: Número de referencia o identificación:

Si consultamos las tablas de la codificación de Opitz, comprobando qué dígito corresponde en cada posición según las características de la pieza, obtendríamos para los 5 primeros y principales dígitos, el número: 12000.

El primer dígito es para la forma y dimensiones principales de la pieza. En nuestro ejemplo, correspondería al de una pieza de revolución cuya relación longitud / diámetro de 2 (en nuestro caso, $60/30 = 2$) y que, por lo tanto, al estar en el tramo de mayor de 0,5 y menor que 3, corresponde, según la tabla, al número 1.

El segundo dígito describe la forma externa. Si consultamos las tablas, vemos que nuestro ejemplo corresponde a una pieza con un escalonado en uno de los dos extremos (el rebaje de diámetro) y que además ese escalonado tiene un roscado, características a las que la tabla le otorga el número 2.

El tercer dígito es para la forma interna. Nuestro ejemplo no tiene ni agujero ni ningún tipo de interrupción, por lo que se codifica con el 0.

El cuarto dígito es sobre el mecanizado de superficies planas. En nuestro caso, no tenemos, por lo que el código es 0.

El quinto dígito es para describir agujeros auxiliares o dientes de engranaje. De nuevo, al no tener, es un 0.

A esto se le añadirían el resto de los códigos auxiliares hasta completar los 13 dígitos.

BOM: Bill of Materials - Codificación

Nota 1: Número de referencia o identificación:

-**Método DCLASS:** 8 dígitos que informan sobre la forma básica, las características de la forma, el tamaño, la tolerancia y el material.

-**Método MICLASS (Metal Institute Clasification System):** Contempla dos bloques de dígitos, uno principal de 12 dígitos para clasificar la forma del componente principal, la forma de los elementos, las dimensiones, las tolerancias y el material, y un segundo bloque de 18 dígitos para información específica del procesamiento de esa pieza en la empresa que lo fabrica (tamaño de lote, tiempo de fabricación, etc.).

-**Método KK3:** originario de la industria Japonesa, usa 21 dígitos para dar información sobre el nombre de la pieza, la función, el material, la forma del material, dimensiones, tipos de procesos y tolerancias.

BOM: Bill of Materials

Información que debe contener (Continuación)

Esto sería la información mínima que el BOM debería contener. En la literatura técnica y en ejemplos reales de BOM's, es habitual encontrar la inclusión en el BOM de otras muchas informaciones asociadas, como, por ejemplo:

Material del que está hecha la pieza o componente.

Imagen descriptiva (Foto real o 3D de la pieza).

Proveedor, si es pieza de compra externa.

Ubicación en el almacén.

Tiempo de entrega.

Coste unitario.

Referencia cruzada, es decir, enlaces a planos constructivos de las piezas, modelos 3D y fichas técnicas.

Otros.

BOM: Bill of Materials

Información que debe contener (Continuación).

La decisión de incluirlos o no dependerá de aspectos como el usuario final de la lista y la funcionalidad que se le otorgue.

Por ejemplo, al personal de producción no le aporta valor conocer el precio de la pieza o el proveedor que la suministra (de hecho, esta es una información que puede variar sin que afecte a la operativa de producción). Sin embargo, es una información crucial para la operativa del departamento de compras. De la misma forma, la ubicación del componente en el almacén puede no ser de interés para el departamento de compras, pero es vital para el departamento de logística. Como veremos más adelante, hay programas informáticos de gestión empresarial (llamados **ERP: Enterprise Resource Planning**) encargados de enlazar documentos con bases de datos en los que se conecta la información que cada usuario requiere.

En empresas pequeñas y con productos simples, puede ser conveniente concentrar toda la información en un solo documento, más que tener que generar, mantener y gestionar un documento para cada departamento o actividad. Sin embargo, esto tiene el inconveniente de que en caso de que un dato cambie (por ejemplo, el precio) se debe actualizar el documento que este en manos de todos los usuarios cuando el cambio solo es relevante para algunos de ellos.

En empresas de mayor estructura departamental y complejidad de conjuntos, será más habitual tener un documento dedicado para cada usuario o función.

Cuando hablamos de distintos BOM's según la función a la que van dirigidos, estamos hablando de distinguir diferentes **tipos** de listas de materiales.

BOM: Bill of Materials - Tipos

Tipos de listas de materiales: Usuarios

La clasificación de los tipos de listas de materiales que podemos encontrar atiende tanto al **usuario** al que va dirigido / **función** que realiza como a la **estructura** con la que se crea la lista de materiales.

Usuarios y funciones:

→ **Producción:** Necesita información sobre qué piezas y en qué cantidades son necesarias para ensamblar un producto, tanto para apoyar la operativa de ensamblaje como para las planificaciones de materiales necesarias para cumplir con los programas de producción.

→ **Compras / Aprovisionamiento:** Necesitan conocer el proveedor que suministra las piezas, el precio unitario y el tiempo de entrega.

→ **Ingeniería de producto:** El BOM es un documento de soporte del diseño de producto. También debe conocer en qué productos se usa cada componente, puesto que esto les ayudará a evaluar el impacto de los cambios de diseño en piezas unitarias y a tener controlada la implementación de estos cambios.

→ **Comercial:** Necesitan conocer la configuración de los productos finales y accesorios (necesarios u opcionales) que se distribuyen para el cliente final y los costes de manufactura, con lo cual poder realizar las ofertas comerciales.

→ **Finanzas:** Necesita el BOM para los cálculos financieros y contables de costes de producción.

BOM: Bill of Materials - Tipos

Tipos de listas de materiales según su función:

Atendiendo a esos usuarios, tendríamos los siguientes tipos de listas de materiales:

- **MBOM (Manufacturing Bill Of Materials):** Sería una lista de materiales enfocada a los procesos de fabricación, recogiendo la información necesaria sobre las piezas que conforman el producto que se esté fabricando en cada sección productiva. Variantes de esta lista se usan también para satisfacer las necesidades de información de logística y aprovisionamiento.
- **EBOM (Engineering Bill Of Materials):** La lista de materiales de ingeniería se usa en los diseños, relaciona piezas con planos constructivos y especificaciones técnicas y da visibilidad sobre la modularidad del diseño en lo que respecta a componentes compartidos entre familias de productos. El planteamiento de esta lista está más orientado a la funcionalidad del conjunto acabado que a la manufacturabilidad.

En algunos casos y en cierta literatura técnica, se tipifica otro tipo de lista de materiales, dentro de esta clasificación, por función que realiza que es la:

- **SBOM (Service Bill Of Materials):** Es una lista de materiales destinada a recoger los componentes de servicio o de reparación que harían falta en una actuación de mantenimiento o reparación. Se puede establecer cierta analogía con las listas de piezas de sustitución y desgaste de una máquina. Conceptualmente, no es distinta a los otros tipos de listas de materiales.

BOM: Bill of Materials - Tipos

Tipos de listas de materiales según su estructura:

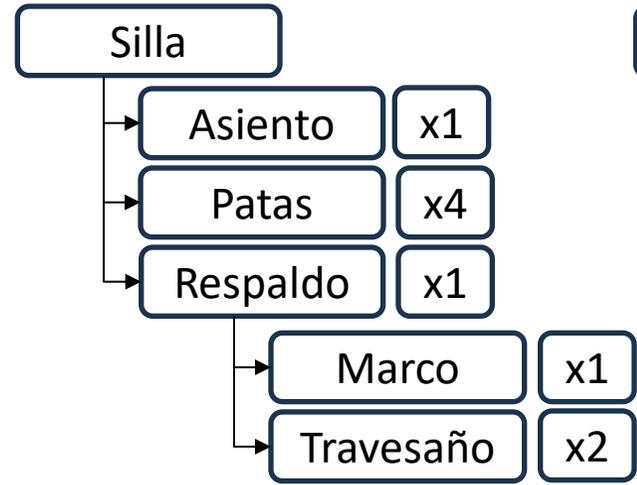
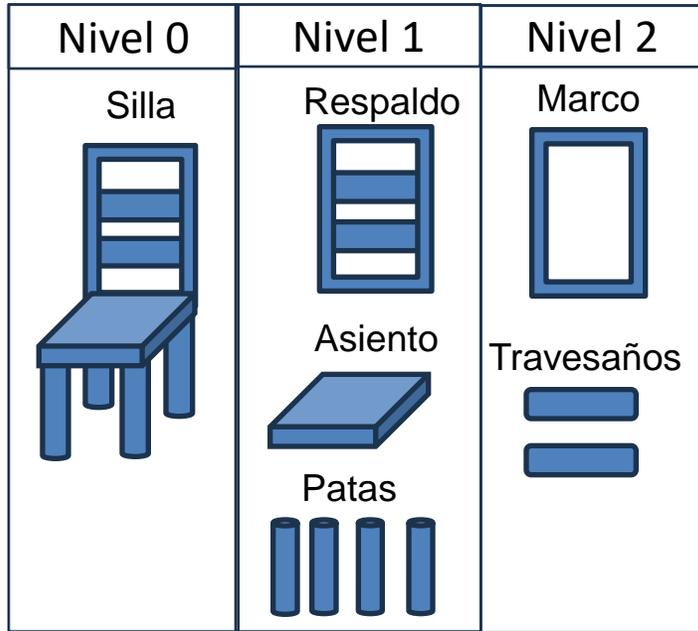
Si clasificamos por el tipo de estructura con el que se crea la lista de materiales, encontramos los siguientes tipos:

- **Multi-Level BOM** (BOM multinivel). Es la lista completa con todos los niveles y subniveles que tiene el producto.
- **Single-Level BOM** (BOM de un único nivel). Solo contiene la lista de materiales necesaria para crear un subconjunto, o la lista de subconjuntos y piezas necesarias para crear un producto acabado, pero solo refleja un nivel de ensamblajes. Puede ser de utilidad para las estructuras modulares del producto, para simplificar la información necesaria en ciertas partes del proceso, etc.
- **Flattened BOM** (BOM aplanada). Es una lista de materiales consolidada, en las que están todas las piezas que contiene un producto final o un subconjunto, pero sin distinguir de que subconjuntos dependen, es decir, sin establecer la relación padres-hijos. Sirve para dar idea de necesidades de material por cada unidad producida, pero no da información sobre en qué subconjunto se usarán.

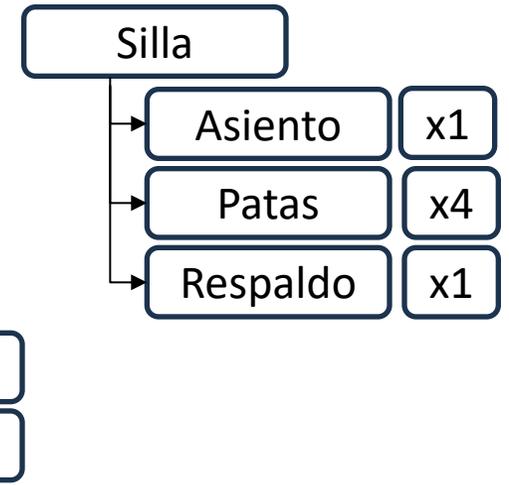
Siguiendo el ejemplo de fabricación de la silla que veíamos anteriormente, estos 3 tipos de listas de materiales se verían así:

BOM: Bill of Materials - Tipos

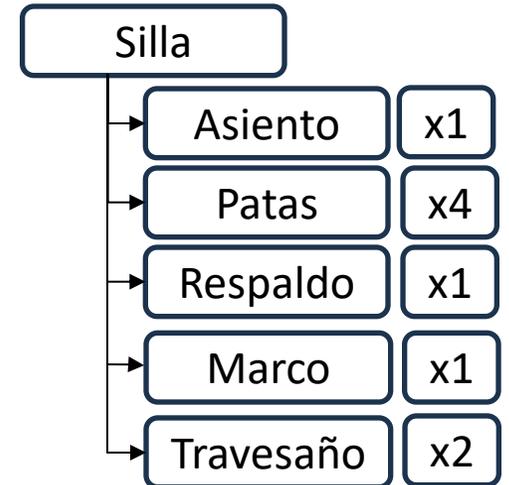
Multi-Level, Single-Level y Flattened BOM's



Multi-Level



Single-Level



Flattened

BOM: Bill of Materials - Tipos

Tipos de listas de materiales según su estructura (Continuación):

- **BOM modular:** Es un listado de materiales que busca agrupar los componentes en módulos o subensamblajes funcionales*, con idea de poderse reutilizar en otros productos.

* Por funcionales se debe entender como que ese módulo es utilizable para ser ensamblado en otro conjunto y completarlo, no como que el módulo tenga una función en si mismo como lo puede tener un conjunto acabado.

Cuando el producto que se fabrica tiene múltiples opciones de customización (algo que es una tendencia ya totalmente establecida en la industria, de un tiempo a esta parte), es esencial disponer de este tipo de listas de materiales, que habilitan el siguiente tipo de lista que se cita a continuación:

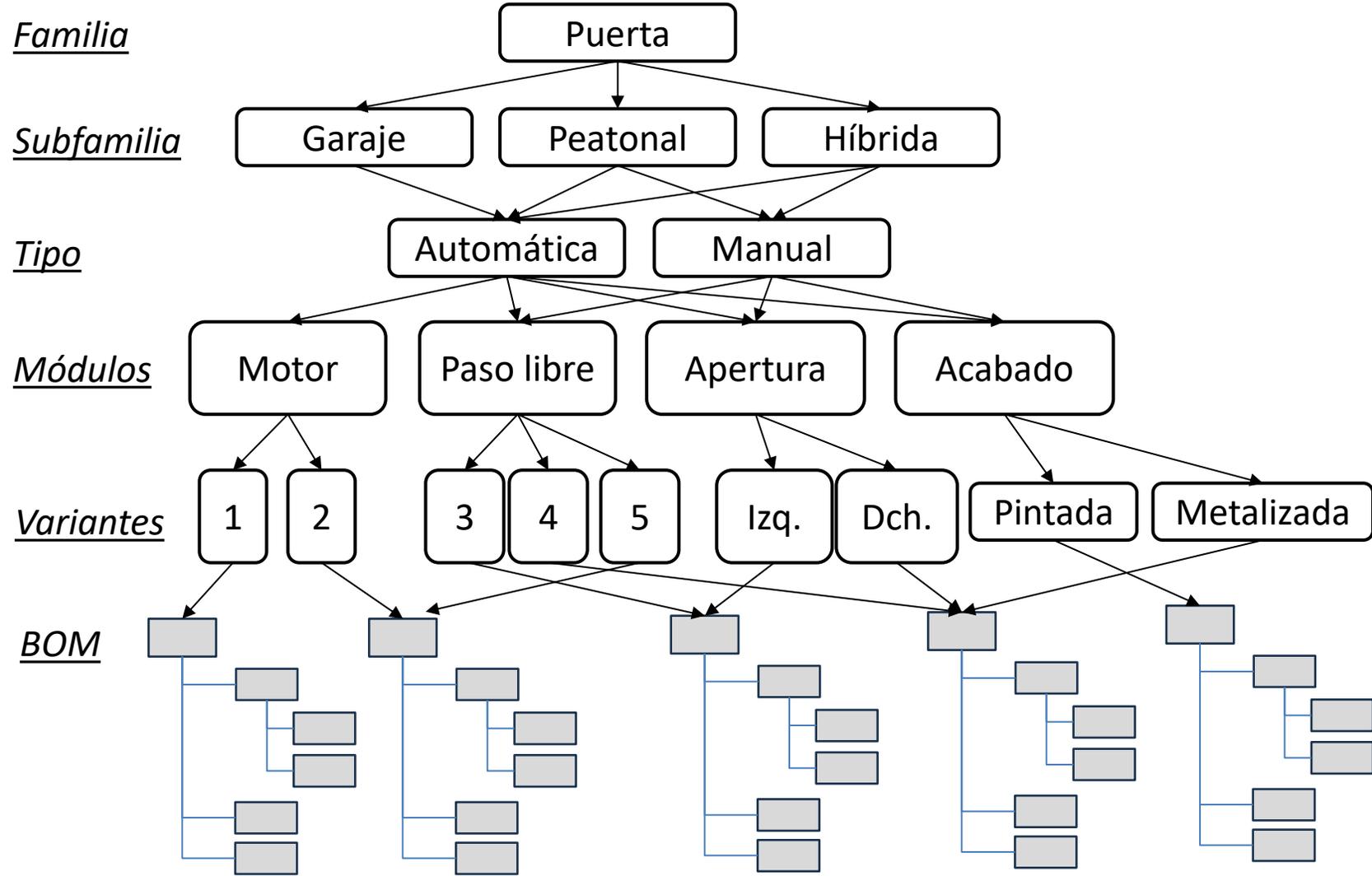
- **CBOM (Configurable Bill of Material):** Como decíamos, se usa en productos con alto grado de customización, que ofrecen múltiples combinaciones de elección de características y opciones. La idea es que, en vez de tener una BOM por cada opción, algo inviable cuando se han de manejar tantas combinaciones, el listado de material del producto final que se desea se genere de forma dinámica, encadenando los distintos BOM modulares compatibles y necesarios para cada configuración.

Esta gestión solo se puede hacer con un software en el que se creen las reglas de configuración y se gestionen las distintas modular BOM's disponibles. El software puede ser uno específico creado ad-hoc o formar parte del ERP.

Ejemplo de reglas de configuración

En el esquema de la derecha se puede observar un ejemplo ficticio y muy simplificado de cómo puede escalar fácilmente la combinatoria posible entre variantes y características de una familia de productos. Las flechas uniendo los bloques representarían las reglas que el configurador gestionaría, es decir, las combinaciones que permite y obliga el producto. El resultado final de pasar por todas ellas es la generación de la lista de materiales de cada configuración.

Configurador



BOM: Bill of Materials

Ejemplo de utilidad de Modular BOM

Un ejemplo conocido de utilidad de los BOM modulares, tiene que ver con el estándar NAAMS (North America Automotive Metric Standard), estándar global de componentes para el ensamblaje y la estampación. Se trata de una iniciativa conjunta, originaria de la década de los 90, entre los grandes grupos automovilísticos americanos de la época y sus proveedores (Ford, General Motors y Chrysler, hoy Stellantis).

Esta orientado a definir componentes estandarizados y aprobados por el grupo con los que diseñar y montar, por parte de las ingenierías proveedoras de estos fabricantes, los utillajes y las matrices de estampación para los procesos de producción de fabricación de los vehículos.

Si bien estamos hablando de un estándar, no de una lista de materiales, al contener componentes estandarizados “funcionales”, NAAMS facilita y permite la creación de BOMs modulares, en este caso de utillajes y matrices, seleccionando componentes y combinándolos para formar el conjunto final.

BOM: Bill of Materials - Utilidad

Utilidad de las listas de materiales

Aunque a lo largo del texto ya se ha ido avanzando la importancia de las listas de materiales, resumimos a continuación los puntos más relevantes en cuanto a su utilidad:

- El BOM es una herramienta esencial para la generación de ordenes de fabricación.
- Ayuda a establecer la relación entre componentes y subcomponentes, facilitando así el entendimiento sobre el proceso de ensamblaje del producto y de su secuencia de montaje.
- Es un documento que da soporte a la planificación de las compras de materias primas y componentes, ayudando a tener un nivel optimizado de stock.
- Proporciona información sobre costes, tanto para el área de finanzas como para ventas.
- Es un nexo de unión entre los distintos departamentos en cuanto a compartir la misma información y a proporcionar visibilidad de oportunidades de optimización de la cadena de suministro.

Gestión de BoM

Software de gestión de listas de materiales.

Las listas de materiales pueden sufrir cambios a lo largo del tiempo por diversos motivos (optimización de diseños, cambios de proveedor, cambios de precio, etc.) por lo que resulta imprescindible contar con un software de gestión de esta documentación, que facilite que los cambios se reflejen en todas las listas afectadas y en todos los documentos relacionados.

Algunos softwares comerciales dedicados y específicos para gestionar listas de materiales son, por ejemplo:

- Herramientas propias de los softwares de CAD con el que se diseñan los productos, como **Autodesk Inventor** o **SolidWorks**, que incluyen funciones propias destinadas a generar listados de materiales.
- Paquetes de software de **PLM (Product Lifecycle Management)**, como el **Teamcenter de Siemens**, el **Enovia de Dassault Systèmes**, o el **PLM de Arena**, que permiten gestionar el ciclo de vida completo del producto.

En la actualidad, cada vez más se impone el uso de softwares de gestión (ERP's) que integren toda la operativa empresarial, no solo la gestión del listado de materiales si no su relación con las ordenes de producción, con los pedidos de materiales, costes, facturaciones, etc. De este tipo de softwares se hablará en el capítulo siguiente.

BOM: Bill of Materials - Conclusión

La relevancia del BOM en la gestión de la cadena de suministro: Un caso práctico

En Septiembre de 2022 se dio a conocer la noticia de que el Pentágono de Estados Unidos suspendía las entregas de los aviones de caza F-35 por parte del proveedor principal del contrato, la empresa Lockheed Martin, tras conocerse que uno de los imanes del motor, fabricado por la empresa Honeywell, proveedora de Lockheed Martin, estaba hecho con una aleación de origen Chino. Dicha aleación estaba suministrada a su vez por un proveedor de nivel inferior (de hecho, el material pasó por 5 compañías diferentes antes de ser ensamblado en el F-35).

Los retrasos causados por un evento así, supone pérdidas millonarias en el desarrollo de un proyecto que es del orden de billones de dólares.

Como es lógico, el área de defensa se considera un sector estratégico en el que se aplican ciertas reglas y restricciones de forma que se tenga un estricto control de la operativa. La razón por la cual se bloquearon las entregas, por lo tanto, es debido a que las leyes americanas y las normativas que impone el pentágono en cuanto a sus compras y suministros, prohíben usar materiales y componentes fabricados en ciertos países, listados por el pentágono, como China, Corea del Norte, Rusia o Irán. El programa del F-35 cuenta con más de 1700 proveedores de todas partes del mundo, por lo que resulta sumamente complejo tener información y visibilidad de los detalles de fabricación de todos los componentes. En este caso, si bien el componente en cuestión se llegó a ensamblar en aviones, el hecho se dio a conocer porque el contratista lo declaró por si mismo. Esto es un ejemplo claro de utilidad y la potencia de tener una estructura de producto clara, con listas de materiales detalladas y con herramientas con las que analizar todas las sub dependencias que éstas puedan tener.