



Universidad de  
Oviedo



# **ESCUELA POLITÉCNICA DE INGENIERÍA DE GIJÓN.**

## **MÁSTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA INDUSTRIAL**

### **ÁREA DE ORGANIZACIÓN DE EMPRESAS**

#### **DISEÑO E IMPLANTACIÓN DE LOS SISTEMAS OPERATIVOS DEL ÁREA INDUSTRIAL DE LA EMPRESA INGENIERÍA Y DISEÑO EUROPEO S.A.**

**D. GARCÍA BLANCO, Iván**  
**TUTOR: D. FRANCISCO JAVIER GARCÍA PUENTE**

**FECHA: Junio 2019**

# ÍNDICE

<b>1</b>	<b>Introducción.....</b>	<b>9</b>
1.1	IDESA.....	10
1.1.1	Líneas de trabajo.....	13
1.2	Mejoras por departamento .....	18
<b>2</b>	<b>Integración de la empresa.....</b>	<b>21</b>
2.1	Nivel de campo .....	22
2.1.1	Sensores .....	22
2.1.2	Actuadores .....	24
2.2	Nivel de control .....	26
2.2.1	Programable Logic Controller (PLC) .....	26
2.3	Nivel de supervisión .....	33
2.3.1	Supervisory Control And Data Adquisition (SCADA) .....	33
2.4	Nivel de planificación.....	36
2.4.1	Product lifecycle management (PLM).....	36
2.4.2	Advanced planning and scheduling (APS).....	41
2.4.3	Manufacturing execution system (MES).....	46
2.4.4	Gestión de mantenimiento asistido por ordenador (GMAO) .....	50
2.5	Nivel de gestión .....	54
2.5.1	Business Intelligence (BI) .....	54
2.5.2	Enterprise resource planning (ERP) .....	58
<b>3</b>	<b>Comunicaciones .....</b>	<b>63</b>
3.1	Redes de comunicación .....	64
3.1.1	Redes de Área Local (LAN).....	64
3.1.2	Redes de Área Extensa (WAN).....	65
3.1.3	Ethernet Industrial .....	66
3.1.4	Buses de campo .....	67
3.2	Comunicaciones entre sistemas operativos .....	70
3.2.1	Comunicación entre ERP y BI .....	72
3.2.2	Comunicación entre ERP y PLM .....	72
3.2.3	Comunicación entre ERP y MES .....	72
3.2.4	Comunicación entre ERP y APS .....	73

3.2.5	Comunicación entre APS y PLM .....	73
3.2.6	Comunicación entre APS y MES .....	73
3.2.7	Comunicación entre MES y GMAO .....	73
<b>4</b>	<b>Estrategia de implantación .....</b>	<b>75</b>
4.1	Maestro de materiales .....	77
4.1.1	Flujo de datos .....	79
4.2	Maestros de usuarios y recursos .....	80
4.2.1	Maestro de usuarios .....	80
4.2.2	Maestro de recursos .....	82
4.2.3	Flujo de datos .....	82
4.3	Maestros de tareas y rutas.....	85
4.3.1	Maestro de tareas .....	85
4.3.2	Maestro de rutas .....	85
4.3.3	Flujo de datos .....	86
4.4	Maestro de órdenes .....	88
4.4.1	Flujo de datos .....	88
4.5	Maestro de documentación.....	91
4.6	Maestros de almacenes y ubicaciones .....	91
4.6.1	Maestro de almacenes.....	91
4.6.2	Maestro de ubicaciones .....	92
4.6.3	Flujo de datos .....	92
4.7	Maestro de mantenimiento .....	93
4.7.1	Flujo de datos .....	94
4.8	Estados de máquinas.....	95
<b>5</b>	<b>Planificación.....</b>	<b>96</b>
<b>6</b>	<b>Implantación .....</b>	<b>98</b>
6.1	Maestro de materiales .....	98
6.2	Maestros de usuarios y recursos .....	100
6.2.1	Maestro de usuarios .....	100
6.2.2	Maestro de recursos .....	100
6.3	Maestros de tareas y rutas.....	101
6.3.1	Maestro de tareas .....	101
6.3.2	Maestro de rutas .....	101

6.4	Maestro de órdenes .....	103
6.5	Maestro de almacenes .....	104
<b>7</b>	<b>Presupuesto digitalización .....</b>	<b>106</b>
<b>8</b>	<b>Presupuesto trabajo fin de máster (TFM) .....</b>	<b>107</b>
<b>9</b>	<b>Referencias .....</b>	<b>108</b>

# ÍNDICE DE FIGURAS

<b>FIGURA</b>	<b>PÁGINA</b>
Figura 1: FCK & Fluid Catalytic Cracking para la empresa Petroperú [1].	9
Figura 2: Tambor de coque (Coke Drum) para la empresa Exxonmobil [3].	11
Figura 3: Oficinas de IDESA en el parque tecnológico de Gijón [4].	12
Figura 4: Talleres de IDESA en Avilés [5].	12
Figura 5: Reactor para Cepsa [7].	13
Figura 6: Fluid Catalytic Cracking (FCC) para Petroperú [8].	14
Figura 7: Transition pieces [10].	15
Figura 8: Gravity Bases for Umbilicals [11].	15
Figura 9: Instalación de un catalyst cooler para la empresa Galp [13].	16
Figura 10: Construcción modular de una unidad de vacío para la empresa BP [14].	17
Figura 11: Instalación de una unidad de vacío para la empresa BP [14].	17
Figura 12: Propane storage drum para la empresa LNG [15].	18
Figura 13: Niveles jerárquicos en la automatización industrial [16].	21
Figura 14: Sensor fotoeléctrico de barrera [18].	22
Figura 15: Pirómetro [19].	23
Figura 16: Sensor de presión diferencial [20].	23
Figura 17: Sensor de caudal [21].	23
Figura 18: Sensor de nivel tipo flotador [22].	24
Figura 19: Sensor de PH [23].	24
Figura 20: Motor eléctrico trifásico de 5,5 kW [25].	25
Figura 21: Fuente de tensión [26].	25
Figura 22: Válvula todo o nada [27].	25
Figura 23: Cilindro hidráulico [28].	26
Figura 24: Estructura típica de un autómatas programable [29].	27
Figura 25: PLC Modicon M340 [30].	27
Figura 26: Fuente de alimentación BMX CPS 3500 [30].	28
Figura 27: CPU BMX P34 1000 [30].	28
Figura 28: Módulo de entradas BMX AMI 0410 CPU [30].	29

Figura 29: Puerto Ethernet integrado BMX P34 2030 [30].	30
Figura 30: Rack BMX XBP 1200 [30].	30
Figura 31: Ciclo de Scan de un PLC (elaboración propia).	31
Figura 32: Pantalla SCADA desarrollada por la empresa Siemens [32].	34
Figura 33: Ciclo de vida de un producto (PLM) [34].	36
Figura 34: Interfaz del software Teamcenter de Siemens [35].	37
Figura 35: Aplicaciones del Teamcenter de Siemens [36].	37
Figura 36: Representación gráfica del ciclo de vida de un producto [38].	39
Figura 37: Ciclo de vida de un producto tradicional (elaboración propia).	39
Figura 38: Ciclo de vida de un producto actual (elaboración propia).	40
Figura 39: Interfaz del programa Simatic It Preactor APS de Siemens [40].	42
Figura 40: Proceso de fabricación (Simatic It Preactor APS) [41].	43
Figura 41: Modelo de planta en un sistema MES [44].	47
Figura 42: Interfaz del software Simatic IT MES de Siemens [45].	47
Figura 43: Funciones que ofrece el programa de CMMS de CWorks [47].	51
Figura 44: Interfaz del programa de CMMS de la empresa CWorks [47].	51
Figura 45: Características del software Power BI de Microsoft [50].	55
Figura 46: Interfaz del programa Power BI de Microsoft [51].	55
Figura 47: Módulos más comunes en un ERP (elaboración propia).	58
Figura 48: Interfaz del programa ERP de APPLUS+ [55].	59
Figura 49: Módulos del programa ERP de APPLUS+ [56].	59
Figura 50: Interconexión en bus redes LAN (elaboración propia).	64
Figura 51: Interconexión parcial en redes LAN (elaboración propia).	65
Figura 52: Organización de una red WAN (elaboración propia).	66
Figura 53: Conexión entre elementos de campo y equipo de control [59].	67
Figura 54: Comunicación de diferentes Software sin OPC [31].	69
Figura 55: Comunicación de diferentes Software con OPC [31].	70
Figura 56: Esquema de comunicaciones del ERP (elaboración propia).	71
Figura 57: Esquema de comunicaciones del APS (elaboración propia).	71
Figura 58: Comunicación entre MES y GMAO (elaboración propia).	72
Figura 59: Ubicación de los maestros del sistema (elaboración propia).	75

Figura 60: Secuencia de tareas en una orden (elaboración propia). .....	76
Figura 61: Flujo de datos del maestro de materiales (elaboración propia).....	80
Figura 62: Flujo de datos del maestro de usuarios (elaboración propia).....	82
Figura 63: Flujo de turnos y calendario de la fábrica (elaboración propia). .....	83
Figura 64: Flujo de datos del maestro de recursos (elaboración propia).....	83
Figura 65: Flujo de tiempos del maestro de usuarios (elaboración propia).....	84
Figura 66: Flujo de datos del maestro de operaciones (elaboración propia). .....	86
Figura 67: Flujo de ruta completa (elaboración propia). .....	86
Figura 68: Flujo de datos del maestro de rutas (elaboración propia). .....	87
Figura 69: Flujo de datos de horas no productivas (elaboración propia). .....	89
Figura 70: Flujo de datos de horas productivas (elaboración propia). .....	89
Figura 71: Estados de orden de quipo (elaboración propia).....	90
Figura 72: Flujo de datos de órdenes de compra y subcontratación (elaboración propia)..	92
Figura 73: Flujo de datos de recepción de materiales (elaboración propia).....	93
Figura 74: Flujo de datos de órdenes de mantenimiento preventivo (elaboración propia). 94	
Figura 75: Petición de orden de mantenimiento correctivo (elaboración propia). .....	94
Figura 76: Flujo de datos de órdenes de mantenimiento correctivo (elaboración propia)..	95
Figura 77: Planificación de la digitalización (elaboración propia). .....	96
Figura 78: Planificación PLM (elaboración propia).....	97
Figura 79: Flujo de datos real del maestro de materiales (elaboración propia).....	98
Figura 80: Flujo de datos del consumo de materiales (elaboración propia).....	99
Figura 81: Flujo de datos del maestro de materiales intermedios (elaboración propia).....	99
Figura 82: Flujo de datos del consumo de materiales intermedios (elaboración propia)..	100
Figura 83: Flujo de datos real del maestro de recursos (elaboración propia).....	101
Figura 84: Flujo de datos del código y descripción de las tareas (elaboración propia).....	102
Figura 85: Flujo de datos de la ruta de fabricación (elaboración propia).....	102
Figura 86: Flujo de datos de la ruta real (elaboración propia). .....	102
Figura 87: Flujo de datos de la ruta de fabricación y recursos secuenciados (elaboración propia).....	103
Figura 88: Flujo de datos de las órdenes (elaboración propia).....	103
Figura 89: Notificación de avances de las tareas al ERP (elaboración propia).....	104

Figura 90: Flujo de datos de las fechas teóricas de recepción de materiales (elaboración propia).....	105
Figura 91: Flujo de datos de las fechas reales de recepción de materiales (elaboración propia).....	105

# 1 INTRODUCCIÓN

El objetivo de este trabajo fin de máster (TFM) es el de definir el procedimiento a seguir para realizar la digitalización de la empresa IDESA. La digitalización consiste en la sustitución de una parte de las tareas que realiza el personal de la empresa de forma manual por procesos automáticos o asistidos realizados por o con la ayuda de programas informáticos. IDESA se dedica a la fabricación de equipos de grandes dimensiones, más adelante se explicará con detalle la historia de la empresa y sus líneas de trabajo.

Las características de IDESA hacen que su proceso de digitalización sea bastante diferente al que se podría considerar como estándar. El motivo es que la empresa realiza una pequeña cantidad de equipos de gran tamaño, cuya fabricación es muy diferente entre sí debido principalmente al número de tubuladuras, sus diámetros, posiciones, espesores, etc. Las tubuladuras son todos los elementos externos que se añaden a la envolvente y que permiten realizar diferentes funciones como: permitir a los operarios entrar en el equipo (estas tubuladuras se las conoce como entradas de hombre) o la introducir sensores de distintos tipos como de nivel o de temperatura. En la Figura 1 se pueden observar las tubuladuras hechas en un equipo Flexicoker Unit (FCK), al frente, y en un Fluid Catalytic Cracking, al fondo, fabricados para la empresa PETROPERÚ.



Figura 1: FCK & Fluid Catalytic Cracking para la empresa Petroperú [1].



Debido a estas diferencias en proceso de digitalización, en este trabajo se va a explicar la metodología de implantación de los sistemas operativos para una empresa general (que realice fabricaciones de equipos con un tamaño normal y que sean estandarizables) y las modificaciones realizadas por la empresa para adaptarla a sus características.

La implantación de los sistemas operativos es un proceso muy largo que se va a realizar en distintas fases, cada fase consiste en la instalación de uno de los sistemas operativos y la conexión con los demás. En esta primera fase se va a realizar la implantación del PLM dejando para futuras etapas las del MES, el APS y posiblemente, el GMAO. Por otra parte, no se van a instalar el ERP, que ya estaba en funcionamiento antes de empezar este proyecto, y los autómatas programables y pantallas SCADA, que no se tiene pensado utilizar actualmente. En cuanto a los sensores, sí que se va a realizar su instalación en algunas máquinas para medir consumos energéticos. Esta implantación por fases hace que no se haya estudiado todavía la implantación de todos los maestros principales de los sistemas necesarios en la digitalización. Un ejemplo de esto es el maestro de mantenimiento que, al no tener decidido si se va a implantar un GMAO independiente, no se puede definir su flujo de dato.

El principal objetivo de esta primera fase de la digitalización es la sustitución del sistema 2D (AutoCAD) que se utilizaba tradicionalmente en la empresa por un sistema 3D (Solid Edge) conectado con el PLM. De esta forma un usuario, al dibujar una pieza, podrá asignarle mediante un desplegable el tipo de material del que está formado. El PLM va recopilando automáticamente todos los materiales introducidos en una orden durante la fase de diseño y los exportará, también de forma automática a otros sistemas operativos de la empresa para que realicen diferentes tareas como puede ser el lanzamiento de los pedidos de compra de los materiales de la orden.

El objetivo que busca la empresa al finalizar todas las fases de la digitalización es obtener la integración de la empresa mediante el uso de la informática. Este concepto se conoce en el área industrial como Computer Integrated Manufacturing (CIM), que será explicado posteriormente.

## 1.1 IDESA

IDESA es una empresa que se dedica a la fabricación de equipos de grandes dimensiones, principalmente en el sector de Oil & Gas, como: tambores de coque, columnas de vacío, columnas fraccionadoras, reactores y unidades FCC y FCK [2].

En la Figura 2 se puede observar un tambor de coque o coke drum fabricado por IDESA para la empresa Exxonmobil. Este equipo va a ser instalado en la refinería de Baton Rouge, Luisiana (EE. UU).



Figura 2: Tambor de coque (Coke Drum) para la empresa Exxonmobil [3].

IDESA fue fundada en el año 1993 como una oficina técnica y comercial que trabajaba para las plantas de fabricación locales dedicadas al sector Oil & Gas. Desde entonces la empresa ha crecido hasta convertirse en uno de los mayores proveedores mundiales de equipos de grandes dimensiones, realizando las tareas de diseño, fabricación y suministro de equipos estáticos y modulares.

En mayo de 2014, pasó a formar parte del Grupo Daniel Alonso convirtiéndose en un grupo industrial especializado en el procesamiento del acero, tanto en el sector Oil & Gas, como en el de Marine Energy. Este grupo tiene talleres ubicados en cuatro países, con quince grupos de trabajo y más de 1500 empleados.

IDESA está formada por las oficinas (Figura 3), situadas en el parque tecnológico de Gijón, y dos talleres (Figura 4), en Avilés, a 1 km del puerto industrial.



Figura 3: Oficinas de IDESA en el parque tecnológico de Gijón [4].



Figura 4: Talleres de IDESA en Avilés [5].

## 1.1.1 Líneas de trabajo

Actualmente la empresa trabaja en tres líneas claramente diferenciadas, que son Oil & Gas, marine energy y plantas industriales.

### 1.1.1.1 Oil & Gas

Ha sido la actividad principal de la empresa desde sus inicios, al principio ofreciendo asesoramiento a las empresas del sector, para posteriormente abrir talleres propios encargándose de la fabricación de los equipos [6]. A estos equipos se les añaden elementos tanto externos como internos, además de realizar tratamientos térmicos, aplicar aislamientos térmicos, etc. Algunos de estos trabajos se subcontratan a empresas externas, por ejemplo, en el caso de los internos se subcontrata la fabricación para instalarlos en la empresa.

Como ya se ha comentado previamente, IDESA es actualmente uno de los proveedores líderes en fabricación de los siguientes equipos:

- Tambores de coque.
- Columnas de vacío.
- Columnas fraccionadoras.
- Reactores (Figura 5).
- Unidades de FCC (Figura 6): Reactor, Regenerador, Catalyst Cooler, Cámara de Orificio, Líneas de transferencia.
- Unidades de FCK.



Figura 5: Reactor para Cepsa [7].



Figura 6: Fluid Catalytic Cracking (FCC) para Petroperú [8].

### 1.1.1.2 Marine Energy

Otra de las líneas de trabajo de IDESA es el sector de offshore para el cual fabrica cualquier producto de calderería de grandes dimensiones como los siguientes [9]:

- Pilotes de anclaje.
- Componentes para jackets.
- Plantillas para perforación o hincado.
- Equipos a presión.
- Módulos de proceso.

Ejemplos de los equipos realizados en esta línea de trabajo son los Transition pieces de la Figura 7 y los Gravity Bases for Umbilicals de la Figura 8. Ambos elementos forman parte de la estructura sobre las que se colocan los aerogeneradores de la eólica offshore.



Figura 7: Transition pieces [10].



Figura 8: Gravity Bases for Umbilicals [11].



### 1.1.1.3 Plantas Industriales

La última línea de negocio de IDESA, creada en el año 2012, es la de plantas industriales cuya función es la de realizar funciones en campo [12]. Cuenta con cuatro actividades principales:

- **Paradas.** Consiste en la ejecución de Paradas y Revampings de algunos de los equipos de la rama de Oil & Gas (FCC, Coke Drums y FCK). Esta rama surgió con el fin de complementar los suministros de equipos y componentes a refinerías. También incluye servicios de Project Management and Consultancy y de supervisión técnica de paradas. En la Figura 9 se puede observar la instalación de un catalyst cooler para la empresa Galp en la refinería de Sines.



Figura 9: Instalación de un catalyst cooler para la empresa Galp [13].

- **Módulos.** Esta actividad se dedica a la construcción modular, dando soporte a los clientes en distintas áreas como ingeniería de detalle y fabricación, gestión del proyecto, programación, aplicación de pintura, etc. En la Figura 10 se muestra una construcción modular de una unidad de vacío para la refinería de la empresa BP en Castellón de la Plana, España. La imagen es del momento en que se realizó la construcción del módulo fuera de la refinería.



Figura 10: Construcción modular de una unidad de vacío para la empresa BP [14].

Una vez finalizada su fabricación, se procede a realizar la instalación en la refinería (Figura 11).



Figura 11: Instalación de una unidad de vacío para la empresa BP [14].



- **Tanques.** Está formada por la fabricación del tanque de almacenamiento (Ingeniería, prefabricación, suministro y terminación mecánica) y reparaciones sobre los mismos (sustitución de techos y suelos, modificaciones y reparación de envoltentes, etc.). En la Figura 12 se muestra un propane storage drum, un tanque diseñado para almacenar propano, construido para Chevron para su instalación en la planta Wheatstone LNG situada en Australia.



Figura 12: Propane storage drum para la empresa LNG [15].

- **Construcción.** Plantas Industriales realiza la instalación y terminación mecánica en campo de aquellos equipos que no pueden ser suministrados en una pieza debido a su tamaño.

## 1.2 Mejoras por departamento

Anteriormente se ha hablado de las mejoras que se esperan obtener a nivel general, en este apartado se van a definir las mejoras para cada departamento. No todos los departamentos de la empresa obtienen mejoras, por ejemplo, el departamento de calidad que, aunque también sufrirá una transformación, no está relacionado con este proceso. Esto es debido a que se implantará un programa específico de calidad para realizar las funciones del departamento.



### **1.2.1.1 Oficina técnica**

En este departamento es donde se realiza el diseño y cálculo del equipo, es el que más se ve afectado por este proceso debido a que pasa de realizar los diseños de todos los equipos de una orden o pedido mediante un programa CAD 2D (AutoCAD) a uno CAD 3D (Solid Edge). Además de realizar el diseño de cada uno de los elementos de un equipo, deben introducirle los materiales de los que están fabricados para que esta información se transmita automáticamente, junto con la lista de materiales (BOM) que compone un equipo, de forma que desde los demás departamentos se pueda acceder a esta información siempre que sea necesario una vez que el diseño haya sido aprobado.

Dentro de este departamento está el área de soldadura, esta área recibirá mejoras específicas como la obtención de forma automática, a partir del diseño, de los materiales y consumibles que se van a emplear en la fabricación del equipo.

Otro de los objetivos de la digitalización es la transformación de toda la documentación que genera este departamento. Esta transformación consiste en la sustitución del papel, que se utiliza en la gran mayoría de esta documentación por una versión digital de la misma.

### **1.2.1.2 Suministros**

En este departamento es donde se realizan los pedidos de materiales que forma la envolvente del equipo, las tubuladuras, y el resto de los elementos del equipo, además de los materiales de aporte de las soldaduras y consumibles. Todos estos cálculos de material se realizan a mano actualmente, el objetivo es que se automatice este proceso y se obtengan las necesidades de material del diseño 3D. También se elimina la tarea de introducir la lista de materiales en el sistema, ya que como se ha mencionado en apartados anteriores, se genera de forma automática a partir del dibujo. Los diferentes certificados de cada una de las compras realizadas se obtendrán de forma electrónica y se introducirán en el sistema.

### **1.2.1.3 Administración**

Se encarga de las labores económicas de la empresa, realiza el pago de todas las facturas que se generan durante una orden como la compra de materiales del apartado anterior, las nóminas de los empleados o las subcontrataciones. También realiza el cobro derivado de la entrega de equipos o la realización de tareas en campo que realiza la empresa. Actualmente se realiza el escaneado de cada una de las facturas de la empresa, método que se quiere sustituir por su obtención automática, en el caso de las facturas de materiales desde el departamento de suministros. Las facturas derivadas de viajes se van a introducir en el sistema realizando un escaneado de ellas con el teléfono móvil evitando así el uso de papel.

### **1.2.1.4 Planificación**

Este departamento se encarga de realizar la planificación de tareas que componen la fabricación de todos los equipos de una orden, además de realizar un seguimiento y control económico de la fabricación. En este departamento se va a implantar un programa que asista a los miembros del departamento en la realización de la planificación mediante la creación de unas



plantillas que contengan las tareas genéricas de los diferentes tipos de equipos, además de otro sistema que ayude a la realización del seguimiento en taller. Ambas tareas se realizan actualmente de forma manual por operarios utilizando Software de Microsoft, Proyect para la planificación y Excel para el seguimiento. Debido a la implantación del sistema destinado a realizar un seguimiento de la fabricación mencionado anteriormente, se puede realizar de forma más sencilla un control económico de las órdenes.

### **1.2.1.5 Taller**

En el taller es donde se realiza la fabricación de los equipos, en el caso de IDESA se realizan tareas de calderería y soldadura. La digitalización proporciona un gran número de beneficios en este ámbito debido a que la mayor parte de tareas de control y seguimiento del taller se realizan manualmente. Ejemplos de estas tareas son: control de operarios como la comprobación de que un soldador esté homologado para realizar una soldadura concreta, detección de averías y solicitud de mantenimiento, elaboración de planes de mantenimiento preventivo, etc. La detección de averías y las acciones de mantenimiento serían realizadas por un sistema GMAO, sistema que actualmente no se ha tomado una decisión sobre si se incluye o no.

## 2 INTEGRACIÓN DE LA EMPRESA

Como se ha mencionado anteriormente, el principal objetivo de la digitalización de la empresa es el de obtener una integración completa de la empresa mediante el uso de la informática (CIM) [16]. La obtención de esa integración permite a la empresa adaptarse al mercado actual, altamente globalizado, lo que significa que existe una gran competencia en cuanto a precio y calidad del producto, variedad de productos, etc.

CIM se obtiene mediante la implantación de software y conexiones que permitan la obtención de información de las tareas realizadas en la empresa, desde la fabricación hasta atención al cliente o marketing, y su transporte, tratamiento y almacenamiento de forma que sea posible su visualización y comprensión por parte de cualquier trabajador de la empresa que lo necesite. Esta integración se realiza mediante diferentes capas o niveles mostrados en la Figura 13, en la que se puede observar, además de los niveles, los elementos que componen cada nivel y el tipo de red de comunicación que se utiliza entre cada uno de ellos.

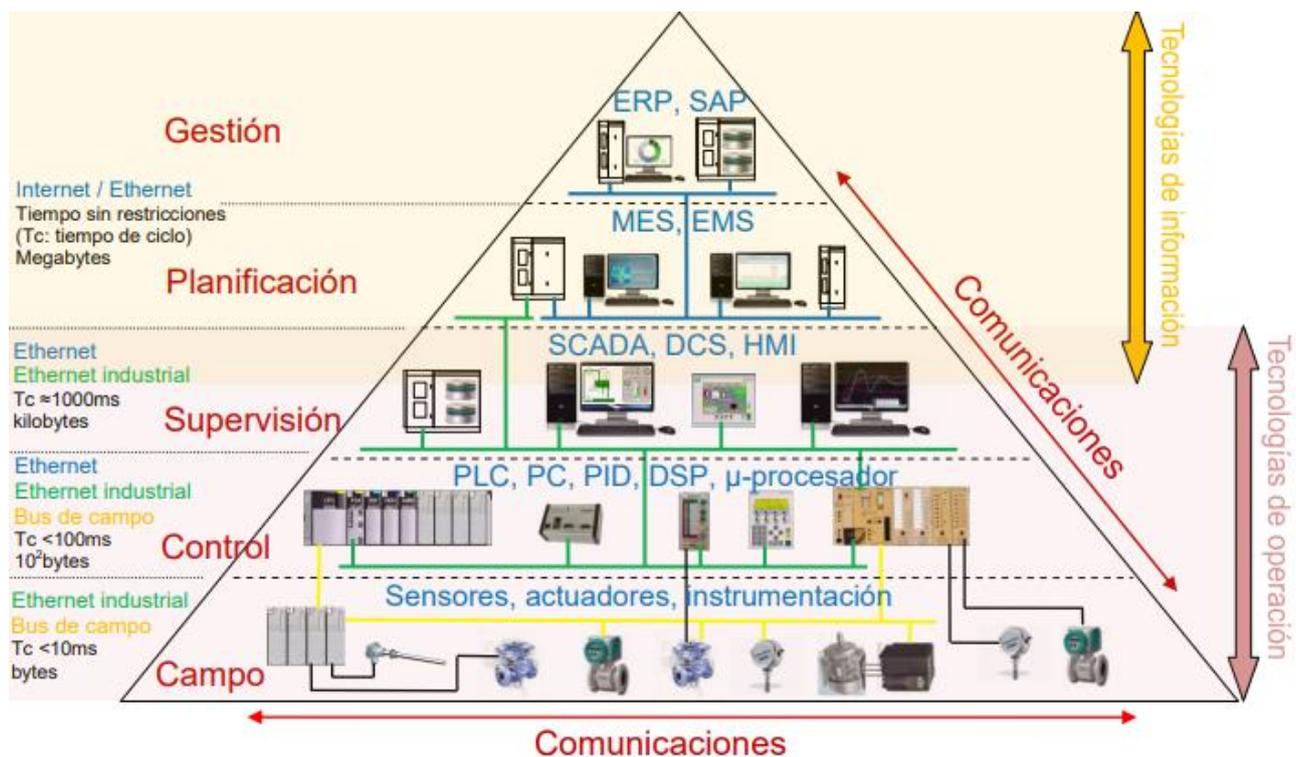


Figura 13: Niveles jerárquicos en la automatización industrial [16].

La implementación de todos estos niveles y, por tanto, de un sistema CIM, permite a la empresa obtener las siguientes ventajas:

- **Reducción de los costes de diseño.** Una forma de conseguir esta ventaja es mediante la reducción de tiempos no productivos derivados de la obtención de información automática que proporciona el CIM.
- **Incremento de la flexibilidad en la producción.** Los autómatas programables permiten que se puedan fabricar productos similares únicamente cambiando su



programación. También puede permitir fabricar productos no demasiado grandes y muy diferentes entre sí cambiando la ruta que realizan entre las diferentes máquinas y las operaciones que se realizan en cada estación, también mediante programación.

- **Incremento de la capacidad productiva.** También se produce debido a la reducción de tiempos no productivos, al reducir estos tiempos se produce una fabricación más rápida de cada pedido.
- **Adaptación rápida a los cambios de mercado.** Este beneficio viene muy relacionado con el incremento de flexibilidad en la producción, ya que poder realizar cambios en fabricación hace que la empresa se pueda adaptar a las necesidades del mercado.

## 2.1 Nivel de campo

En este nivel es donde se obtienen los datos de cada proceso de fabricación que se transmiten a niveles superiores como presión, temperatura, caudal, etc. También es donde se actúa sobre el proceso para modificar sus características. Los sensores realizan la obtención de datos, mientras que los actuadores son los que actúan sobre el proceso.

### 2.1.1 Sensores

Los sensores son dispositivos electrónicos que permiten conocer el estado del sistema, realizan la función de transformar una magnitud física, como puede ser la temperatura, en una variable que pueda ser interpretada por el sistema de control [17].

Actualmente, IDESA está empezando el proceso de introducción de sensores en las máquinas destinados a la obtención de su consumo energético.

Existen una gran variedad de sensores, algunas de ellas son las siguientes:

- **Detectores fotoeléctricos.** Se utilizan para detectar objetos por medio de un haz luminoso. Pueden ser de barrera (Figura 14), reflexión o proximidad.

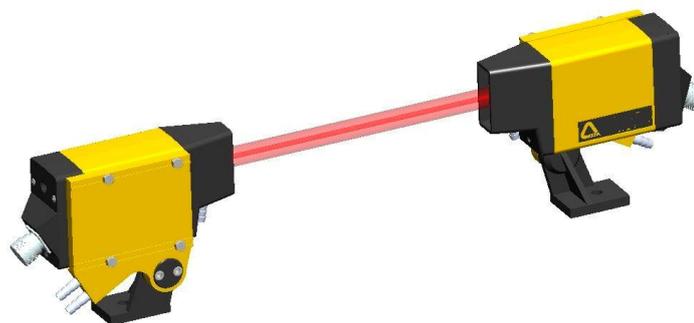


Figura 14: Sensor fotoeléctrico de barrera [18].

- **Sensores de temperatura.** Permiten obtener la temperatura de un objeto o del ambiente, puede ser termistores, termopares o pirómetros (Figura 15).



Figura 15: Pirómetro [19].

- **Sensores de presión.** Se utilizan para medir la presión de un recinto, como puede ser un depósito.



Figura 16: Sensor de presión diferencial [20].

- **Sensores de caudal.** Se utilizan para medir el caudal que circula generalmente a través de tuberías.



Figura 17: Sensor de caudal [21].

- **Sensores de nivel.** Proporcionan el nivel de líquido de la instalación. Pueden ser ultrasónicos o de tipo flotador (Figura 18).



Figura 18: Sensor de nivel tipo flotador [22].

- **Sensores de medición de PH.** Permiten medir el PH de un líquido.



Figura 19: Sensor de PH [23].

## 2.1.2 Actuadores

Los actuadores son los elementos que suministran energía al sistema además de, siguiendo órdenes del control, actúan sobre él para modificar sus características [24]. Generalmente, estos sistemas realizan una transformación de la energía que consumen adaptándola a la energía que necesita el sistema.

IDESA utiliza diferentes tipos de actuadores para dar energía a sus máquinas, sin embargo, debido a que no se utilizan sistemas de control no se puede establecer la conexión con los demás sistemas, por lo que no se incluirán en esta fase de la digitalización.

Un ejemplo de esta adaptación de la energía es una bomba de aceite en una instalación hidráulica, consume energía eléctrica que transforma en mecánica utilizada para mover el aceite desde el depósito de almacenamiento hasta el punto de consumo.

Los actuadores más comunes son los siguientes:

- Motores.



Figura 20: Motor eléctrico trifásico de 5,5 kW [25].

- Fuentes de tensión (Figura 21) y corriente.



Figura 21: Fuente de tensión [26].

- Válvulas proporcionales y todo o nada.



Figura 22: Válvula todo o nada [27].

- Elementos hidráulicos y neumáticos.



Figura 23: Cilindro hidráulico [28].

## 2.2 Nivel de control

Contiene los elementos que actúan directamente sobre el proceso de producción a partir de la información recogida del nivel inferior o mediante órdenes introducidas por el usuario en el nivel de supervisión. Generalmente funcionan mediante programación, aunque podría realizarse mediante hardware en aplicaciones que requieran de una alta velocidad de control. Aunque existen diferentes tipos de elementos que cumplen estas funciones como DCS, controlador PID o multiplexor de E/S, lo más normal es que se utilicen autómatas programables.

En el caso de la empresa IDESA, no se van a utilizar autómatas programables debido a que todavía no se han instalado sensores en las máquinas. Al fabricar productos personalizados para cada cliente de tamaños muy variados, no se le ha visto utilidad a la utilización de sensores.

### 2.2.1 Programable Logic Controller (PLC)

Un Programable Logic Controller (PLC) o autómata programable en español, es una máquina electrónica programable diseñada para trabajar en un entorno industrial. Realiza el control de diferentes procesos mediante el cumplimiento de un programa informático [29]. Las instrucciones presentes en el programa son: funciones lógicas, operaciones aritméticas, operaciones de contaje de eventos, operaciones de temporización, etc.

#### 2.2.1.1 Módulos PLC

Como se puede observar en la Figura 24, un PLC está compuesto por una serie de módulos que realizan diferentes funciones.



Figura 24: Estructura típica de un autómata programable [29].

En la Figura 25 se pueden observar la imagen real de varios módulos del PLC Modicon M340 de la empresa Schneider Electric.



Figura 25: PLC Modicon M340 [30].

Los módulos que componen un PLC son los siguientes:

- **Fuente de alimentación.** Es el módulo encargado de suministrar energía eléctrica al resto para mantener el equipo en funcionamiento. Cada PLC tiene una fuente de alimentación compatible con los demás componentes. En la Figura 26 se puede ver la fuente de alimentación BMX CPS 3500 con alimentación entre 0 y 240 V en alterna con una potencia máxima de 36 W. Es la que se utiliza para el PLC Modicon M340 de Schneider Electric.



Figura 26: Fuente de alimentación BMX CPS 3500 [30].

- **Módulo CPU.** Este módulo realiza la siguiente secuencia: Comunicación con los módulos de entradas y obtención de información sobre su estado, ejecución del programa y escritura de salidas. Este proceso se describirá con más detalle en el siguiente apartado. En la Figura 27 se muestra el CPU BMX P34 1000 del PLC Modicon M340 de Schneider Electric, con capacidad para 512 E/S digitales, 128 E/S analógicas y 20 vías específicas.



Figura 27: CPU BMX P34 1000 [30].

- **Módulos de E/S.** Son los módulos que permiten la comunicación entre el PLC y el exterior. A este módulo se conectan los sensores, actuadores y demás aparatos



electrónicos, pueden estar formados por entradas/salidas analógicas o digitales. Se pueden encontrar módulos con solo entradas, con solo salidas o con una combinación de ambas. En la Figura 28 se puede observar un módulo BMX AMI 0410 de 4 entradas analógicas, detectando entradas de 4...20 mA.



Figura 28: Módulo de entradas BMX AMI 0410 CPU [30].

- **Módulos especiales.** Si se necesitan realizar funciones que los demás módulos no sean capaces de realizar, se añaden estos módulos especiales. Permiten realizar diferentes funciones tales como comunicaciones con otros sistemas o contaje de pulsos de alta frecuencia. En la Figura 29 se puede ver la imagen de un módulo especial utilizado para la función de comunicar al PLC con otro sistema, en el caso de la figura mediante una red Ethernet.



Figura 29: Puerto Ethernet integrado BMX P34 2030 [30].

- **Rack.** Es el elemento que sirve de conexión para todos los módulos, cada uno de ellos viene diseñado de tal forma que se puedan conectar al rack. Cuando están conectados permiten el abastecimiento de energía eléctrica desde la fuente hasta los demás módulos y el intercambio de información entre la CPU y los módulos E/S y módulos especiales. En la Figura 30 se muestra la imagen del rack BMX XBP 1200 del PLC Modicon M340, con capacidad para 12 emplazamientos.

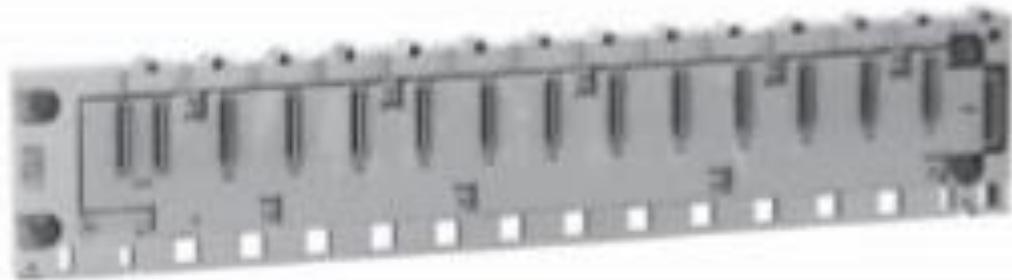


Figura 30: Rack BMX XBP 1200 [30].

### 2.2.1.2 Funcionamiento

Una vez conectado a la red eléctrica tiene básicamente dos modos de funcionamiento:

- **Stop.** En este modo de funcionamiento no se ejecuta el programa de control.
- **Run.** En este modo de funcionamiento el programa de control se está ejecutando de manera indefinida hasta que el PLC pasa al modo Stop o se desconecta de la alimentación.



Cuando el PLC está en funcionamiento se ejecutará de forma cíclica el programa guardado en su memoria. Para ello el autómatas realiza lo que se conoce como Ciclo de Scan. Este ciclo está compuesto por cuatro etapas que se definen a continuación (Figura 31).



Figura 31: Ciclo de Scan de un PLC (elaboración propia).

### **Lectura de entradas**

Es la primera etapa del ciclo de scan y consiste en la comprobación de cada una de las entradas y su almacenamiento en la una zona de memoria especial de la CPU llamada memoria de entradas o imagen del proceso de entradas. Este proceso consiste en la digitalización del estado de cada uno de los elementos de entrada del sistema como son los sensores, pulsadores, etc.

Si la entrada es digital, lo único que esta hará es introducir en la memoria de entradas el valor de 1 o 0 dependiendo de que el sensor este activado o no. Un ejemplo de este tipo de entradas es un sensor de nivel flotador, su funcionamiento consiste en el cierre de un circuito eléctrico, y activación del sensor, en el momento en que un líquido eleve el flotador hasta el nivel deseado.

Si la entrada es analógica, entraría en el módulo una tensión (de 5 o 24 V de corriente continua o 220-230 V de alterna) o una corriente (4-20 mA) que se iría transformando en un valor numérico dentro del PLC. Un ejemplo de esta entrada es un sensor de temperatura, introduce a la CPU del PLC un valor de tensión o corriente dentro de los rangos mencionados y el sistema transformará en un dato de temperatura en grados centígrados, Kelvin, etc.

La razón por la que se realiza el traspaso del estado de las entradas a una memoria aparte y no se actúa directamente sobre el estado de la entrada es porque esto podría producir errores en el desarrollo del programa. Estos errores son debidos a cambios de estado en los sensores durante la ejecución del programa, a partir del momento en el que se produzca el cambio las instrucciones se ejecutarían sobre el nuevo estado de la entrada. Debido a que la escritura de salidas se realiza una



vez finalizada la ejecución del programa, el tener un cambio en un sensor podría suponer que el PLC tenga que escribir dos estados contradictorios en una misma salida. Para evitar esto los cambios de estado de las entradas no se tienen en cuenta hasta el ciclo siguiente.

### **Ejecución del programa de control**

Una vez finalizada la primera etapa, se comienza a ejecutar las instrucciones del programa albergado en la memoria de programa del PLC. Se hará una ejecución secuencial del programa desde la primera instrucción principal hasta la última, teniendo en cuenta distintas acciones que convierten a su ejecución en no lineal como interrupciones, saltos hacia adelante o atrás, etc.

La ejecución del programa hará que los valores de la memoria de datos vayan cambiando, incluidos los guardados en la memoria de salidas, que en el próximo paso del ciclo serán escritos en la memoria de salidas y se traducirán en acciones sobre el proceso.

### **Escritura de salidas**

La tercera etapa del ciclo empieza cuando se termina la ejecución del programa y consiste en transmisión del estado de cada posición asociada a la memoria de salida a la misma posición del módulo de salidas del PLC. Al igual que para las entradas, existen dos tipos de salidas: digitales y analógicas.

En las salidas digitales, lo más normal es que cuando encuentran un 1 en la memoria de salidas activen un preaccionador que, a su vez, activará el actuador que realizará una determinada acción sobre el proceso. El PLC no suele actuar directamente sobre los actuadores debido a que carece de la suficiente potencia para ponerlos en marcha. En el caso de en una determinada posición de la memoria de salidas se escriba un 0, este se transmitirá a la salida desactivando el preaccionador. Un ejemplo de este tipo de salida es el de una electroválvula todo o nada que deje pasar o no el caudal de líquido de una instalación.

Para las salidas analógicas se realiza el proceso inverso al de las entradas, el valor numérico presente en la memoria de salidas del PLC se transforma de tensión o corriente dentro de los rangos mencionados anteriormente. Un ejemplo de este tipo de salidas es la de un variador de frecuencia de una bomba que actúa sobre la misma variando el caudal que proporciona en función de la salida del autómata.

### **Tareas internas del PLC**

Una vez que se terminan todas las fases anteriores y antes de que comience de nuevo la lectura de entradas, el PLC realiza unas determinadas tareas internas como por ejemplo comprobar si se han producido errores, almacenar la duración del ciclo de scan, actualizar valores internos de sus tablas de datos, etc.

#### **2.2.1.3 Beneficios potenciales**

Sus principales beneficios potenciales son los siguientes:

- **Se maneja fácilmente.** Son herramientas que pueden controladas y supervisadas desde programas de ordenador como puede ser la pantalla SCADA. Esto hace que



sean mucho más fáciles de manejar que las estructuras cableadas utilizadas anteriormente.

- **Facilita la transición hacia nuevas tecnologías.** A pesar de ser dispositivos electrónicos, estos autómatas tienen un modo de programación que imita el cableado físico del sistema (Diagrama de escalera). Esto permite que la empresa avance hacia nuevas tecnologías de fabricación manteniendo el personal, ya que los empleados de mantenimiento eléctrico pueden adaptarse fácilmente a esta tecnología con una pequeña formación.
- **No requiere personal altamente cualificado.** Mediante la utilización del PLC se evita la utilización de todos los elementos intermedios de un proceso y su correspondiente cableado. Esto se traduce en una simplificación importante de la instalación y, por tanto, no requiere un personal muy cualificado.
- **Potente interfaz hombre máquina.** Estos dispositivos suelen estar controlados por un interfaz muy potente, lo que facilita la labor del personal de mantenimiento y de producción. En el caso del SCADA nombrado en el primer punto es común que el interfaz sea una representación digital del sistema productivo de la empresa.

## 2.3 Nivel de supervisión

Los sistemas presentes en este nivel permiten al usuario supervisar las tareas realizadas en fabricación y actuar sobre ellas mandando órdenes a los niveles inferiores. Los equipos utilizados son ordenadores (mediante aplicaciones SCADA) o autómatas programables de alta gama. No se va a implementar este nivel.

### 2.3.1 Supervisory Control And Data Adquisition (SCADA)

Un sistema SCADA es un software que actúa como interfaz entre el usuario y el proceso, permitiendo al usuario en cada momento observar las variables a controlar de cada proceso y actuar sobre ellas en caso de que sea necesario [31].

Está diseñado para sustituir los paneles de control físicos presentes en las plantas industriales por pantallas con gráficos y elementos interactivos implementadas generalmente en ordenadores, aunque cada vez se utilizan más en dispositivos portátiles como teléfonos móviles, tabletas, pantallas táctiles industriales, etc.

En la Figura 32 se puede observar una pantalla SCADA comercial desarrollada por la empresa Siemens.

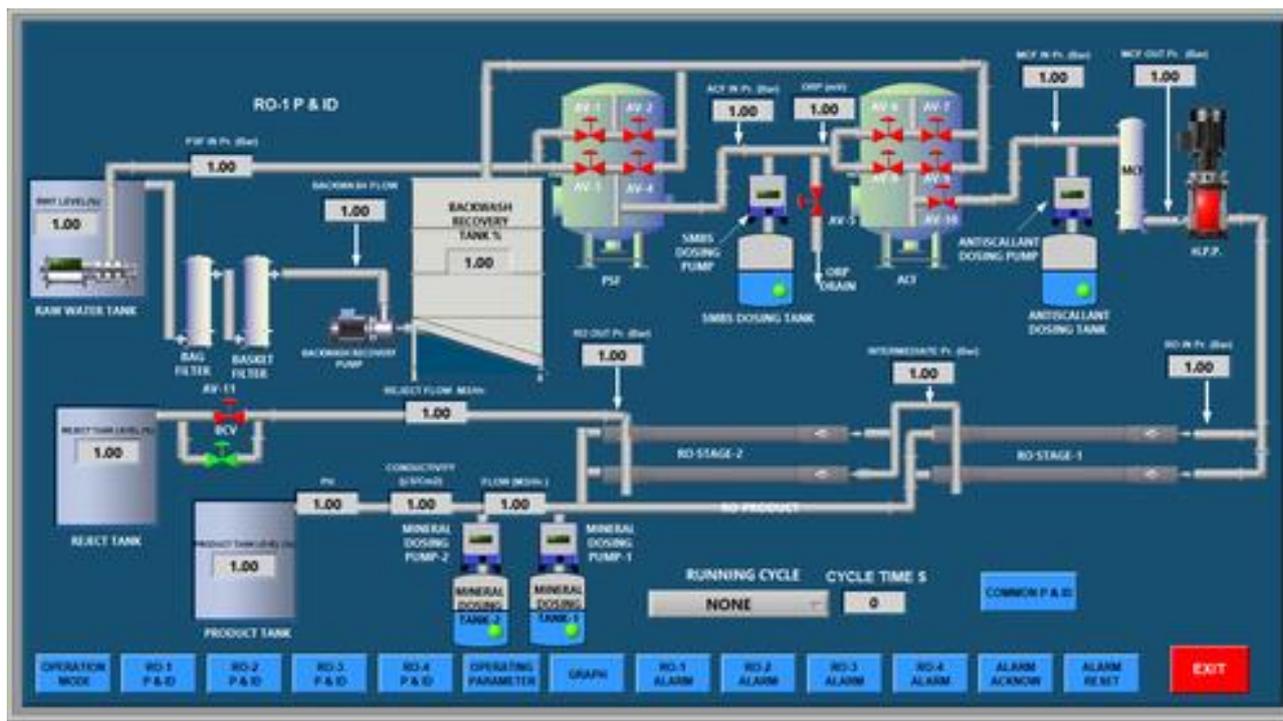


Figura 32: Pantalla SCADA desarrollada por la empresa Siemens [32].

### 2.3.1.1 Funciones básicas

Existen una gran variedad de funciones que realizan este tipo de sistemas, además debido al hecho de que son herramientas software, pueden ser configuradas según las necesidades de la propia empresa. Basándose en las SCADA comerciales, las funciones básicas que realizan estos sistemas son:

- **Adquisición de datos.** El sistema debe obtener la información necesaria para realizar el control de la planta, además de procesarla y almacenarla de forma que esté disponible en todo momento.
- **Supervisión.** Las aplicaciones SCADA permiten al usuario realizar un seguimiento en tiempo real de todas las variables que se utilizan para modelizar el proceso de fabricación.
- **Control.** Debe permitir la modificación de las variables mencionadas en el punto anterior mediante el control de los actuadores.
- **Transmisión de datos.** Esta función consiste en el envío de información a otros sistemas de la empresa o a servidores Web. Un ejemplo de utilización de estos últimos es el uso de la aplicación en dispositivos móviles, que reciben la información del proceso en a través de internet.
- **Bases de datos.** Consiste en la gestión de los datos generados en el proceso industrial.
- **Presentación.** Representación gráfica de los datos obtenidos del modo más intuitivo posible de manera que se evite, en la medida de lo posible, errores de interpretación de la información. Es bastante común realizar, siempre que sea posible, una representación que muestre el proceso real.



- **Explotación.** Utilización de los datos almacenados para realizar diferentes funciones de gestión como gestión de calidad del producto, administrativa, financiera, de ventas o medioambiental.

### 2.3.1.2 Módulos del software SCADA

El sistema SCADA es un sistema compuesto por varios módulos, como ya se explicó anteriormente, existen una gran variedad de módulo. Los más comunes son los siguientes:

- **Módulo de Comunicación.** Es el módulo que se encarga de las funciones de adquisición y transmisión de datos mencionadas en el subapartado anterior, en general comunica el software SCADA (utilizado en un PC) con los elementos hardware y el resto de software del sistema. Se debe configurar estableciendo con que sistemas se debe conectar y si se debe funcionar como servidor WEB para su utilización desde dispositivos portátiles.
- **Módulo de Configuración.** Permite que el usuario adapte la interfaz del programa según los proyectos a realizar (creando el modelo de planta mencionado anteriormente), además de realizar otro tipo de funciones como gestionar alarmas, archivar datos, crear gráficos de tendencias, etc.
- **Interfaz gráfico del operador.** Permite al usuario realizar las funciones de control y supervisión de la planta, mediante comandos presentes en la pantalla permitiendo realizar funciones como la parada de una máquina con solo pinchar en un botón.
- **Módulo de proceso.** Este módulo permite programar el software SCADA, utilizando lenguajes de alto nivel, para que realice ciertas acciones de forma automática. Ejemplos de estas acciones son: parada de una máquina en caso de que se produzca una alarma o modificación en la velocidad de giro de un motor en caso de que exceda un valor fijado.
- **Gestión y archivo de datos.** Este módulo se ocupa del procesado y almacenamiento de los datos, de forma que sean accesibles para otros dispositivos.

### 2.3.1.3 Beneficios

La sustitución de los paneles de control físicos mencionados previamente por sistemas informáticos hace que se obtengan varias ventajas como:

- **Control de la producción en una sala.** El acceso a la información generada por un proceso productivo en un solo dispositivo hace que sea posible, utilizando varios ordenadores, realizar el control de toda la fabricación de la empresa en una única sala. Esto hace que el tiempo empleado en la toma de decisiones y la solución de problemas se reduzca.
- **Adaptación a cambios en el proceso productivo.** A diferencia de los paneles tradicionales, la pantalla SCADA es una herramienta software por lo que puede ser modificada fácilmente mediante programación para adaptarse a cambios en el proceso.
- **Realización de nuevas funciones.** Los paneles hardware solo cumplían funciones de supervisión mientras que las pantallas SCADA permiten la realización de muchas otras funciones mencionadas anteriormente.



## 2.4 Nivel de planificación

En este nivel se realizan las tareas de planificación de producción y adaptación de esa planificación en función de las condiciones reales de fabricación como disponibilidad de materias y recursos, averías, bajas de operarios, etc. Se realiza una gestión completa del ciclo de vida del producto desde el PLM, la planificación se realiza mediante un APS. El resto de las tareas se realizan con un sistema MES o EMS, aunque también podría incluirse un sistema GMAO para realizar las operaciones de mantenimiento.

### 2.4.1 Product lifecycle management (PLM)

Un sistema product lifecycle management (PLM), o sistema de gestión del ciclo de vida del producto en español, es un software utilizado en el ámbito industrial para realizar la administración de cada uno de los productos de la compañía durante todo su ciclo de vida [33]. En la Figura 33, se puede ver un ejemplo del ciclo de vida de un producto que podría ser gestionado con un PLM. El concepto de ciclo de vida, sus etapas y su evolución a lo largo del tiempo se explicarán próximamente.



Figura 33: Ciclo de vida de un producto (PLM) [34].

Un PLM reduce el coste y el tiempo de desarrollo de nuevos productos, así como la creación de nuevas versiones de los ya existentes. Esto se debe a que el sistema hace de guía, en cuanto a la secuencia de desarrollo del producto y gestiona y asegura la información recogida sobre él durante los diferentes procedimientos como pueden ser los de investigación de sus propiedades,



pruebas para obtener sus características técnicas, toda la documentación de anteriores versiones, etc.

### 2.4.1.1 Teamcenter

El software PLM que se va a utilizar para la implantación de los sistemas operativos del área industrial en la empresa IDESA es el Teamcenter. El Teamcenter es un PLM patentado por la empresa Siemens. En la Figura 34 se puede ver la interfaz del programa y en la Figura 35 varias de las funciones que ofrece.

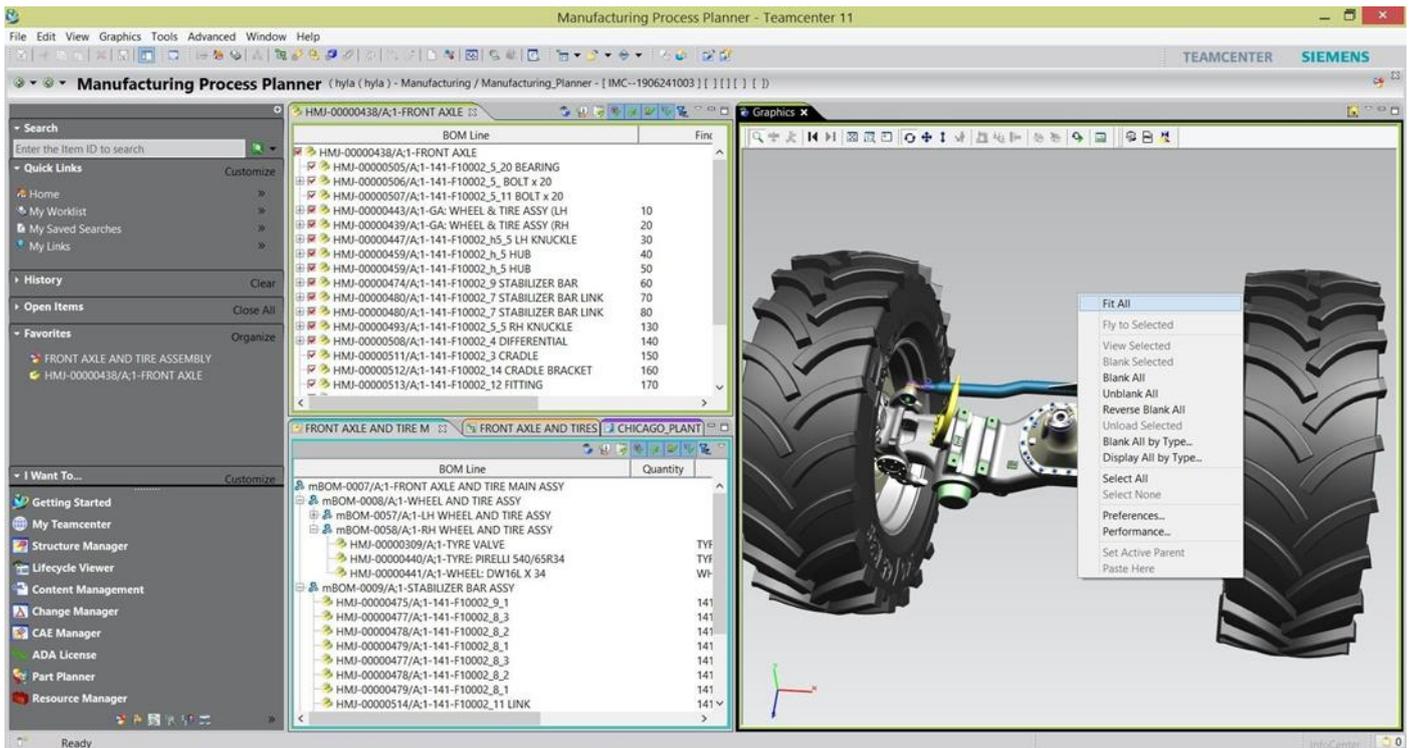


Figura 34: Interfaz del software Teamcenter de Siemens [35].



Figura 35: Aplicaciones del Teamcenter de Siemens [36].



### 2.4.1.2 Funciones básicas

El sistema PLM tiene una única función principal, la gestión del ciclo de vida de un producto. A continuación, se va a incluir un apartado dedicado dicho ciclo, con el fin de entender mejor que es, los cambios surgidos en él a lo largo del tiempo y como afectan estos cambios al sistema PLM.

#### Ciclo de vida de un producto

Como se observaba en la Figura 33, el ciclo de vida de un producto se refiere a todas las etapas dentro de la vida de un producto. Esto incluye las etapas presentes desde su origen como materia prima hasta su final como residuo [37]. Incluyendo diferentes fases intermedias como concepción de la idea, creación del prototipo, transporte, preparación de materias primas, fabricación, distribución, etc.

En cuanto a su introducción en el mercado, un ciclo básico de vida de un producto y, que se aplica a la mayoría de los productos, es el formado por las siguientes etapas (Figura 36):

- **Introducción.** Es la fase inicial del ciclo, empieza una vez que el producto haya sido desarrollado y lanzado al mercado. Recibe una determinada acogida inicial dependiendo de las características del producto y las necesidades de los clientes.
- **Desarrollo.** Viene después de la introducción y se caracteriza por un incremento de las ventas debido que el producto empieza a ser conocido y aceptado por los clientes y a las mejoras introducidas en él. Estas mejoras pueden ser la creación de accesorios y la reducción de costes y tiempo de fabricación, debidas al perfeccionamiento del proceso de fabricación del producto producido por la experiencia acumulada en la fase anterior.
- **Madurez.** Una vez que la fase de crecimiento ha finalizado, empieza la fase de madurez en la que no se realizan más mejoras en el producto: existe una saturación en el mercado, debida a que una gran cantidad de clientes potenciales ya han realizado su compra; y existe una alta competencia con el resto de las empresas del sector por alcanzar la cuota de mercado del producto. Por este motivo la característica principal de esta fase es el estancamiento de las ventas.
- **Declive.** Esta es la fase final del ciclo, el producto comienza a ser superado en prestaciones y en precio por los de la competencia. Esto hace que las ventas empiecen a caer. Llegados a este punto se debe sacar una nueva versión del producto o uno nuevo que pueda competir y mantener, o aumentar, la cuota de mercado del producto original.

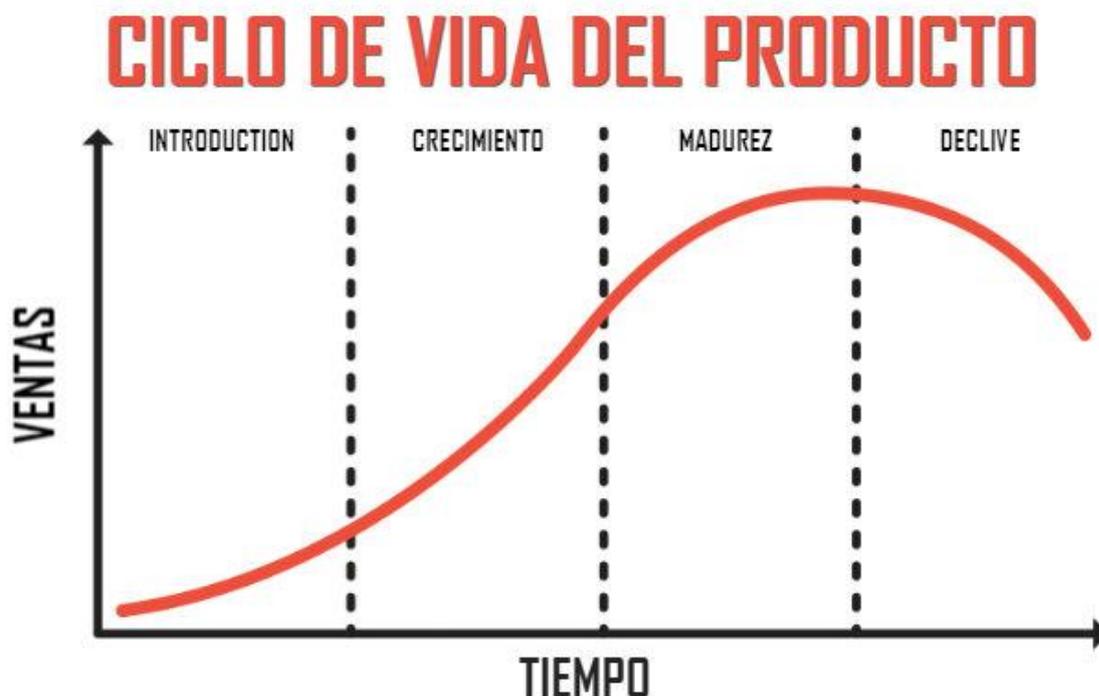


Figura 36: Representación gráfica del ciclo de vida de un producto [38].

Actualmente, los requisitos medioambientales y de gestión de residuos son cada vez más estrictos, y existe una creciente preocupación medioambiental por parte de la mayoría de los ciudadanos. Esto hace que la gestión de residuos y emisiones sea una prioridad para cualquier empresa, ya no solo para cumplir la normativa vigente, sino para no dar una mala imagen frente a sus potenciales clientes.

Debido a esta necesidad, se ha llevado a cabo una transformación del ciclo tradicional, representado de forma gráfica en la Figura 37. Cada etapa venía definida mediante entradas y salidas, considerando como entrada los materiales, recursos y mano de obra, y como salidas, además de los productos que se deseaba obtener, los residuos de los que hay que deshacerse.



Figura 37: Ciclo de vida de un producto tradicional (elaboración propia).

La transformación llevada a cabo es, precisamente, en los residuos de salida de cada etapa mencionados en el párrafo anterior. El cambio se produjo evitando deshacerse de los residuos de salida de cada etapa, sustituyendo el proceso de eliminación por uno de reciclaje. Gráficamente se puede representar de la siguiente forma:



Figura 38: Ciclo de vida de un producto actual (elaboración propia).

Este tipo de ciclo permite una mejor utilización de los recursos de la empresa y una reducción de las emisiones nocivas para el medioambiente, permitiendo compensar, en parte, las inversiones a realizar en disminución de contaminación medioambiental. Se compensan esas inversiones debido a la buena publicidad que obtiene la empresa haciéndose más respetuosa con el medio ambiente y con el dinero ahorrado mediante el reciclaje.

### 2.4.1.3 Características

Un PLM no solo realiza las funciones de recopilar información para su posterior aprendizaje, también puede incluir otro tipo de características adicionales dependiendo del proveedor que lo suministre. Un ejemplo de estas características son las siguientes:

- **Integración con herramientas CAD, CAM, CAE.** Esta integración permite facilitar el flujo de información entre los diferentes departamentos utilizando para ello un sistema PLM. Por ejemplo, una pieza dibujada con un sistema CAD, exportaría inmediatamente su geometría, mediante el PLM, para que desde el sistema CAM se pueda planificar su fabricación.
- **Funcionamiento con sistema de industria 4.0.** Esta característica permite, entre otras cosas, el almacenamiento de la información recopilada por el PLM en la nube, siendo accesible a diferentes usuarios en distintas ubicaciones.
- **Utilización de Software especializado según tipo de industria.** Existen proveedores de sistemas PLM que ofrecen software ya personalizados según las necesidades del cliente.



#### 2.4.1.4 Beneficios potenciales

El PLM proporciona diversos beneficios, siendo los más importantes la reducción de tiempos, disminución de costes y aumento de la calidad de los productos. Todos los beneficios potenciales dependen de la empresa en la que se implante y del modo de realizar dicha implantación, pero, a modo de ejemplo y sin tener en cuenta las características mencionadas el apartado anterior, se muestran a continuación unos beneficios comunes con sus posibles explicaciones.

- **Incremento de ingresos.** Este beneficio viene derivado de los tres mencionados en el enunciado.
- **Reducción de costes.** El hecho de tener un registro del producto hace posible conocer con mayor exactitud las necesidades para su fabricación y ajustar más las compras de material, repuestos, temporales, etc.
- **Reducción del tiempo de comercialización.** Este beneficio también está relacionado con la experiencia recopilada en casos anteriores. Se consigue obtener una reducción en el tiempo al evitar los errores cometidos en otras ocasiones.
- **Mejora de la calidad del producto.** Se produce debido a la recopilación de información que realiza el PLC, permitiendo al usuario repetir los procedimientos en los que se haya obtenido un producto de mejor calidad.
- **Maximización del valor del producto.** La maximización del valor del producto viene dada por los beneficios nombrados en los tres puntos anteriores.
- **Disminución de los riesgos de incumplimiento.** Este beneficio también es debido a la recopilación de datos del PLM, permitiendo realizar planes de fabricación más precisos y ajustarse mejor a ellos.

### 2.4.2 Advanced planning and scheduling (APS)

Un advanced planning and scheduling (APS), o sistema de planificación avanzada en español, es un conjunto de técnicas destinadas al análisis y planificación de la logística y fabricación a corto, medio y largo plazo [39]. Este programa sirve como ayuda para tomar decisiones, debido a que genera y evalúa múltiples escenarios, dejando en manos de los encargados de planificación y logística la elección del escenario más favorable para la empresa.

El APS utiliza algoritmos matemáticos avanzados, incluyendo una serie de restricciones, para realizar la programación de capacidad finita, la planificación y programación en tiempo real, para servir de soporte de decisiones, etc. Estas restricciones se refieren a las limitaciones de la empresa, como puede ser su capacidad de producción, el número de empresarios disponibles para una determinada tarea, etc.

Al estar basado en una programación mediante restricciones, el software proporciona una planificación totalmente válida pero no necesariamente óptima. Este problema se resuelve como se ha mencionado en el primer párrafo, creando diferentes escenarios que cumplan las restricciones y dejando al usuario la elección de la óptima.



Cuando se realiza la implantación de un sistema APS se tienen una serie de objetivos que se desean obtener una vez finalizada. Estos objetivos dependen del tipo de industria en el que se vaya a implantar, pero los más comunes son los siguientes:

- Minimizar las pérdidas de recursos materiales, financieros, laborales, etc.
- Mejorar la gestión de riesgos y proporcionar una respuesta más adecuada a ellos.
- Aumentar la robustez del sistema de producción.
- Reducir el tiempo dedicado a la realización de la planificación temporal de los equipos y mejorar su capacidad de respuesta.
- Integrar las decisiones de planificación estratégica, táctica y operativa de forma más rápida y eficiente.
- Mejorar la integración de la cadena de suministro.
- Hacer que el cumplimiento del pedido sea más transparente.

### 2.4.2.1 Simatic It Preactor APS

El software elegido es el Simatic It Preactor APS de la empresa Siemens. En la Figura 39 se puede ver la interfaz que tiene el programa, siendo las diferentes barras de colores la planificación temporal de la fabricación del equipo.

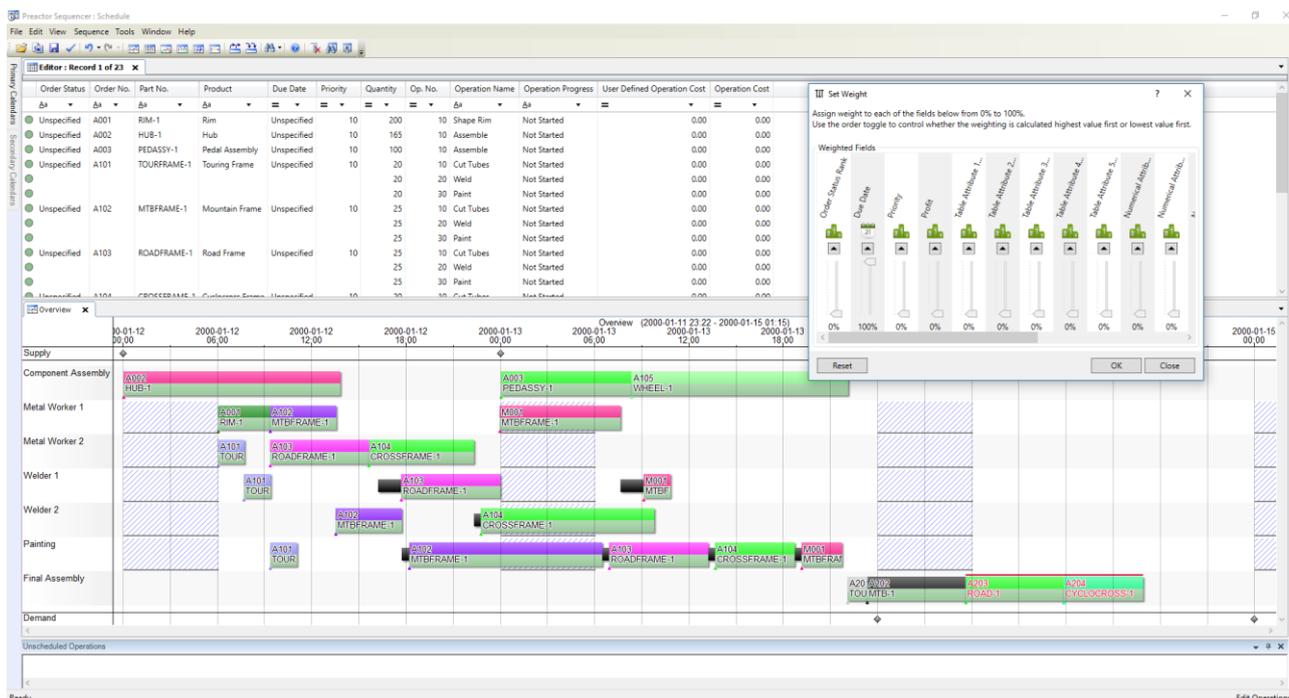


Figura 39: Interfaz del programa Simatic It Preactor APS de Siemens [40].

En la Figura 40 se puede ver un ejemplo del proceso de fabricación de un producto que podría ser planificado utilizando el APS de Siemens Simatic It Preactor.

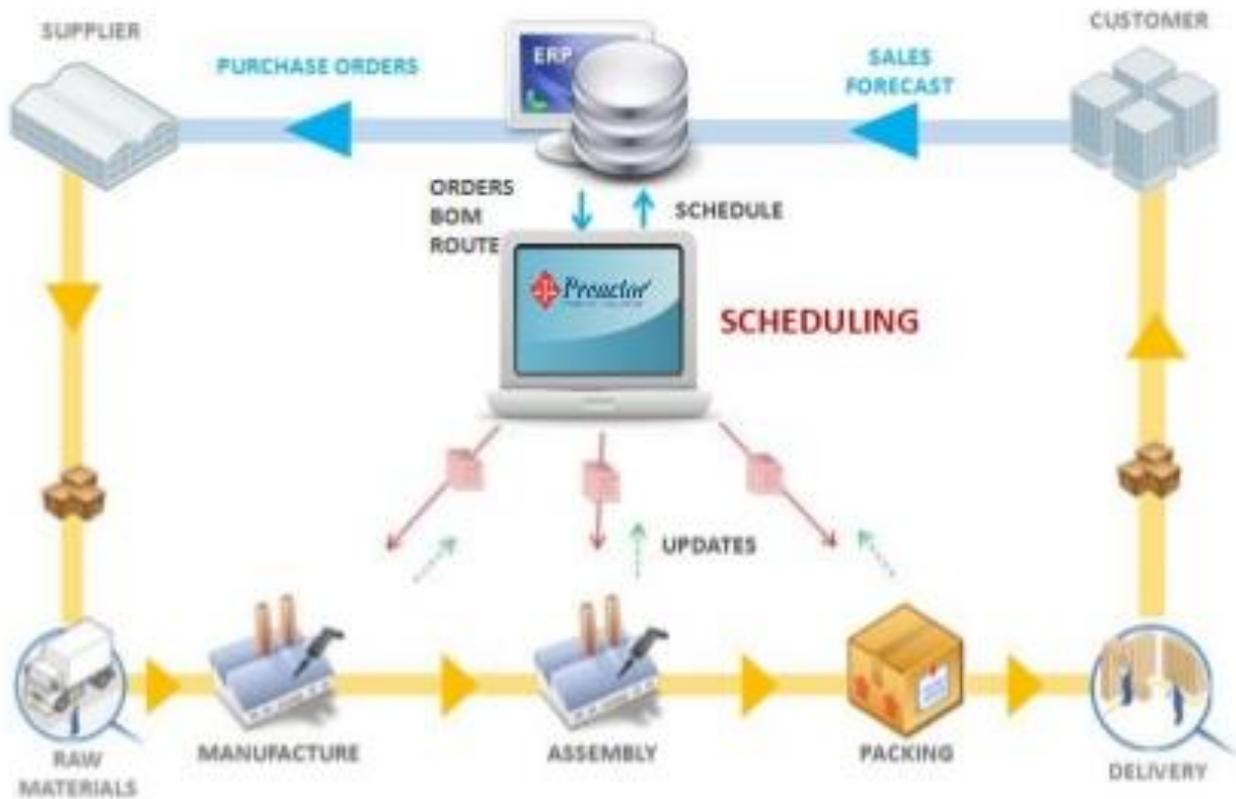


Figura 40: Proceso de fabricación (Simatic It Preactor APS) [41].

### 2.4.2.2 Funciones básicas

Un APS puede realizar la gestión de todo el espectro de actividades relacionadas con la planificación presentes en la empresa [42]. Más en detalle, puede realizar las siguientes actividades:

- **Planificación estratégica.** Es el nivel más alto de planificación de una empresa, establece sus principales objetivos en los próximos años, entre 2 y 10, y da las directivas generales necesarias para llevarlos a cabo. Tiene un bajo nivel de detalle y se revisa entre 6 y 12 meses después de su última renovación.
- **Previsión de la demanda.** Consiste en la realización de una estimación del número de pedidos de la empresa en un determinado horizonte de previsión. Existen tres tipos de horizontes: Corto plazo, de unos días a tres meses; Medio plazo, de tres meses a un año; y largo plazo, de uno a cinco años.
- **Planificación agregada.** Consiste en la elaboración de un plan agregado de la producción que proporciona la cantidad de productos a fabricar, los recursos necesarios para ello y la elección del stock que se desea tener en el almacén según criterios económicos.
- **Master Scheduling.** Consiste en la elaboración del Master Production Schedule (MPS). El MPS es un elemento clave para la comunicación entre los departamentos de ventas y producción y consiste en la realización de un desglose de todas las unidades presentes en el plan agregado, en artículos finales.



- **Available to promise (ATP).** El concepto ATP significa disponible para prometer, se aplica al exceso de unidades de un producto que no están respaldadas por un pedido en firme pero que la empresa espera vender. Se fabrican por razones económicas, es más rentable fabricar todos esos productos a la vez y, a su vez, se garantiza el cumplimiento del plazo. Está relacionado con la previsión de la demanda, ya que se basa en la estimación de ventas que proporciona para saber el número de unidades a fabricar.
- **Shop Floor Scheduling.** Es el proceso de asignación de los recursos disponibles a nivel de taller, a las tareas a realizar con el fin de optimizar uno o más objetivos. Se describirá con detalle más adelante.
- **Material Requirements Planning (MRP).** Parte del plan maestro de producción, la lista de materiales (BOM) y el registro de inventarios para elaborar un plan de realización de pedidos de materiales o creación de productos intermedios de manera que se garantice la entrega en tiempo del producto final.
- **Planificación del transporte.** Consiste en encontrar la ruta que optimiza la distancia recorrida desde un punto inicial hasta llegar a los diferentes puntos de entrega de productos, transporte de personas, etc.
- **Planificación de stock de seguridad.** Este tipo de planificación consiste en el cálculo de los buffers, en forma de stock o de tiempo, que permitan evitar grandes pérdidas económicas en el caso de que sucedan imprevistos. Por ejemplo: es necesario tener repuestos de las piezas críticas de la máquina que forma el cuello de botella, debido a que todo el tiempo que dicha máquina este fuera de funcionamiento se traduce en tiempo de retraso en la entrega del producto final.

A pesar de poder realizar todas estas funciones, lo más común es que el APS se centre en la planificación agregada y el shop floor scheduling. Como se ha explicado anteriormente el Shop floor scheduling es el proceso de asignación de los recursos disponibles a las tareas a realizar. Cuando se habla de shop floor, esos recursos disponibles son, principalmente, las máquinas y los empleados que participan en el proceso de fabricación. Existen dos tipos de talleres sobre los que se realiza la secuenciación: Flow Shop y Job Shop [42].

- **Flow Shop.** Este tipo de taller es el que se utiliza en la fabricación de productos seriados, en los que la ruta de las operaciones que se realizan sobre los productos es igual para todos ellos. Otras de las principales características de este tipo de taller son: fabricación de una gran cantidad de piezas, baja flexibilidad y alto nivel de automatización del sistema de producción, bajo coste de fabricación por artículo, etc.
- **Job Shop.** En estos talleres se fabrican productos diferentes y no estandarizables. Entre sus principales características se incluyen: fabricación de pequeños lotes de productos, bajo grado de automatización y alta flexibilidad del sistema de fabricación, alto coste de fabricación por artículo, etc.

Los talleres de IDESA se incluirían en la categoría de Job Shop debido a que cumple todas las características explicadas en el párrafo anterior.



Los sistemas tradicionales trataban estas dos planificaciones por separado, lo que se traducía en la aparición de problemas al realizar el scheduling debido a cambios en el sistema. Estos cambios pueden ser: variación de carga de trabajo, cambio del cuello de botella, etc. Para resolver este problema, actualmente los sistemas APS realizan ambas planificaciones de forma integrada, teniéndose en cuenta mutuamente en el momento de realizar la planificación individual de cada una de ellas. Mediante esta integración se evitan incompatibilidades en las planificaciones provocadas por la asignación de una máquina para la fabricación de dos productos a la vez, asignación de un operario a dos máquinas simultáneamente, etc.

### 2.4.2.3 Características

Las características de un sistema APS son muy diferentes dependiendo de diversas circunstancias como la rama de la industria en la que son implementados [39]. A pesar de ser muy diferentes entre sí, existen unas determinadas características comunes entre ellos. Estas características comunes son las que se muestran a continuación:

- **Genera diferentes escenarios de planificación.** El programa permite la simulación de diferentes escenarios generando diferentes planificaciones temporales utilizando algoritmos basados en restricciones. Esta característica permite al usuario elegir el escenario más favorable para la empresa.
- **Tiene en cuenta las limitaciones de la empresa.** Dentro de las restricciones utilizadas en su programación mencionada en el punto anterior, están incluidas las relacionadas con las limitaciones de la empresa, tanto a nivel gestión como a nivel de planta. Esto permite crear planificaciones que satisfagan objetivos financieros como los mencionados anteriormente, objetivos estratégicos, etc.
- **Permite conocer los cuellos de botella.** Esto se traduce en una mejor adaptación del sistema en caso de cambio de las condiciones habituales, cambio del cuello de botella.
- **Tiene en cuenta recursos disponibles y capacidad de la planta.** Al realizar la planificación tiene en cuenta los recursos disponibles, entendiendo por recursos los materiales y la mano de obra, además de la capacidad de la planta. Todo esto proporciona una planificación más adaptada a la realidad de la fabricación.
- **Permite una planificación de capacidad finita a nivel de Shop Floor.** Este sistema permite la resolución de un sistema tan complejo como el de la secuenciación mediante el uso de una serie de algoritmos adaptados al tipo de taller, el número de operaciones a realizar y de máquinas disponibles, etc.
- **Integra las planificaciones de previsión, fabricación, distribución y transporte.** El APS coordina e integra los flujos de información, lo que permite realizar una integración de diferentes actividades dentro de la empresa.
- **Permite realizar una planificación jerárquica que abarca todos los niveles de planificación.** Como se ha dicho en el punto anterior, el APS coordina e integra los datos producidos en las diferentes áreas de la empresa. Esto le permite crear una planificación jerárquica que abarque todos los niveles de planificación, desde la estratégica hasta la operativa.



#### 2.4.2.4 Beneficios potenciales

Los beneficios potenciales más característicos de los sistemas APS se pueden resumir de la siguiente manera [39]:

- **Mejora de la calidad de las planificaciones.** Este beneficio está asociado a la capacidad del sistema de generar múltiples escenarios alternativos mencionada anteriormente. Las planificaciones que realiza este sistema son más realistas en cuanto a plazos de fabricación y pueden adaptarse mejor a imprevistos debido a la capacidad del sistema de modificar la planificación en tiempo real.
- **Gestiona de manera más rentable los recursos de la empresa.** El programa considera de forma simultánea el personal, las máquinas, los materiales, la capacidad, etc. Pudiendo obtener de esta manera mejor solución que planteándolos por separado.
- **Reduce los tiempos de rendimiento de los pedidos.** Esto es debido a la realización de la planificación de forma instantánea por parte del sistema, a falta de corregir los errores y añadir los detalles manualmente, y ayudan a sincronizar muchas de las decisiones a tomar durante el desarrollo del producto.
- **Crean planes que satisfacen múltiples objetivos.** Existen diferentes objetivos para los que puede implantar un APS. Dependiendo del sistema escogido permite la realización de varios de los objetivos allí expuestos.
- **Tiene en cuenta los cuellos de botella.** Conocer el cuello de botella dentro de la fabricación de un producto, es muy beneficioso para un sistema de planificación. Este hecho permite conocer cuál es el camino crítico y éste, a su vez, determina el tiempo mínimo de fabricación.
- **Permite compartir información.** Comparte la información presente en el programa con los proveedores, permitiendo su participación efectiva en el proceso de planificación de la cadena de suministro. Permite el envío de forma simultánea a los responsables de planificación internos y a los socios comerciales de mensajes de excepción debidos a problemas críticos a lo largo de la cadena de suministro. De esta forma los proveedores pueden responder a dichos mensajes de forma más eficiente y rápida.
- **No se ven afectados por los cambios de software.** El sistema APS trabaja con un modelo de datos que es independiente de la implementación, lo que hace que no vea afectado por un cambio de software externo causado por la modificación de los procesos de negocios.

### 2.4.3 Manufacturing execution system (MES)

Un software manufacturing execution system (MES), o sistema de ejecución de fabricación en español, es una herramienta diseñada y construida para la fabricación [43]. El MES hace de unión entre los sistemas que actúan a nivel de supervisión e inferior con el nivel de gestión.

Lo más habitual es que se utilice un sistema del nivel de gestión, como podría ser el ERP, para elaborar un plan de fabricación y luego, el MES se encargue de adaptarlo al taller y a los



recursos necesarios para llevarlo a cabo. Como se puede observar en la Figura 41 el MES permite realizar la modelización de la planta industrial que va a gestionar.

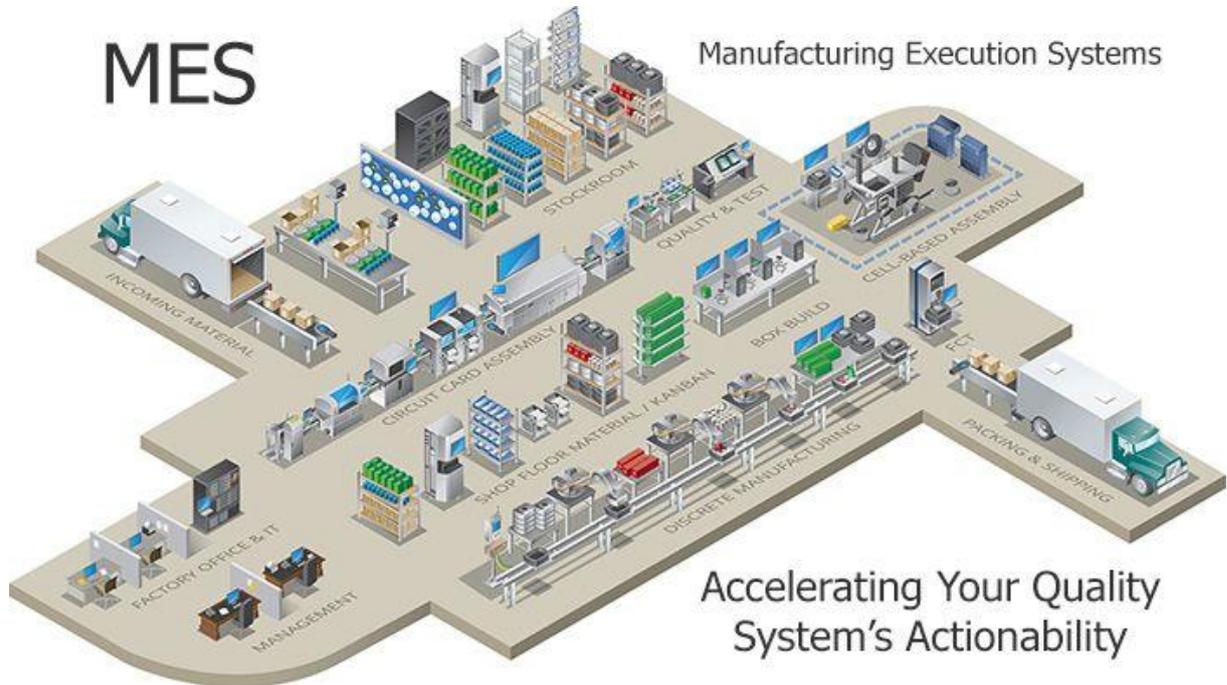


Figura 41: Modelo de planta en un sistema MES [44].

### 2.4.3.1 Simatic It MES

En cuanto al MES, el elegido es el Simatic It MES, también de la empresa Siemens. En la Figura 42, se puede observar la interfaz del programa que se va a utilizar en IDESA cuando se realice la implantación de los sistemas.

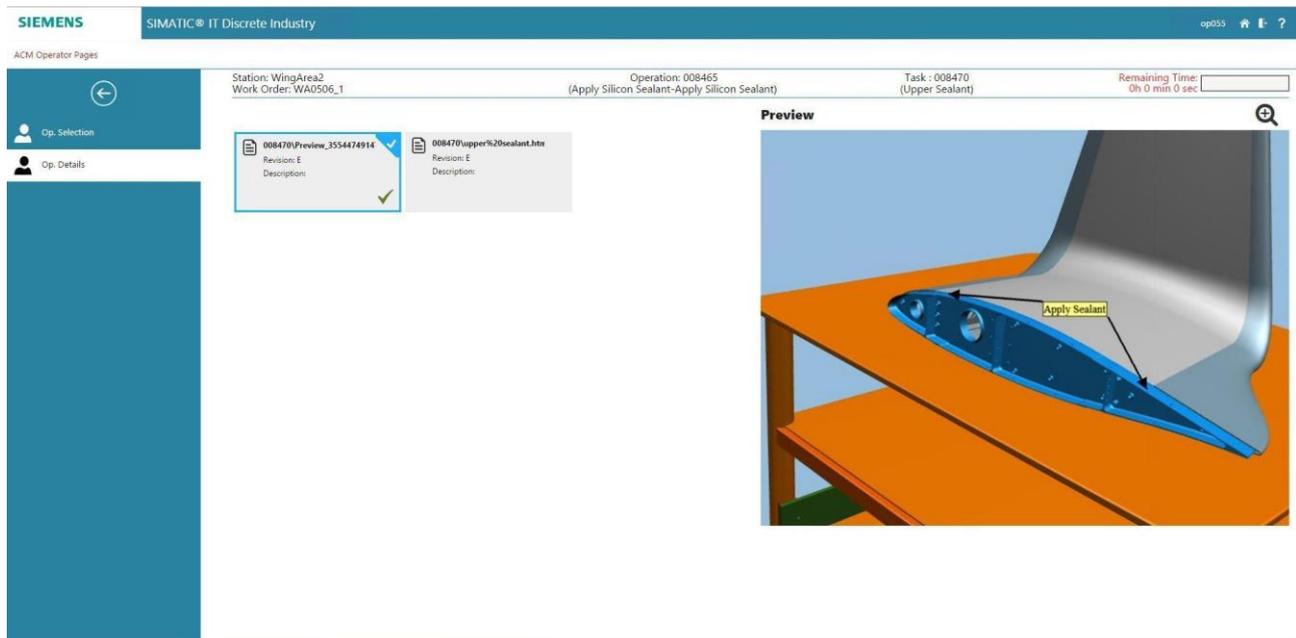


Figura 42: Interfaz del software Simatic IT MES de Siemens [45].



### 2.4.3.2 Funciones básicas

A continuación, se ofrece una descripción general de las funciones básicas del MES:

- **Gestiona las órdenes de trabajo.** El MES accede a las órdenes creadas por otros sistemas de forma automática, o introducidas por los usuarios de forma manual. Este sistema garantiza el cumplimiento de las órdenes de una manera eficiente, estableciendo sus prioridades de secuenciación o cambiando sus horarios de cumplimiento en caso de imprevistos, gestionando cambios en los pedidos, etc. Entre los distintos tipos de cambios que este software puede gestionar se encuentran los cambios de horarios, la falta de material o los cambios en los pedidos. Este sistema permite el control de cada una de las órdenes asignadas, permitiendo conocer en tiempo real el estado de cada una de ellas.

- **Controla las estaciones de trabajo.** Obtiene la secuenciación de las máquinas que se ha explicado en el apartado 2.3.2 desde el sistema APS en el caso de que exista, o de otro sistema en caso contrario. A partir de ésta, el MES realiza la configuración de cada una de las estaciones de trabajo administrando la entrega de inventario, herramientas, EPIs y demás objetos necesarios para la realización del trabajo. En este sistema se almacenan los datos derivados de este tipo de operaciones, como pueden ser los tiempos de cada operación, el estado en tiempo real o un historial de utilización de la estación. Debe incluir una interfaz que permita el control directo y la conexión de cada estación de trabajo.

- **Gestiona y realiza un seguimiento del inventario.** Almacena los datos relacionados con el inventario, permitiendo que éstos sean consultados por los demás sistemas implicados en la fabricación. Son datos con alto nivel de detalle, dentro los cuales se encuentran, además del nivel de inventario del almacén y otros relacionados, también incluyen los relativos a las ubicaciones de almacenes y de materiales o productos dentro de cada almacén.

- **Controla los movimientos de material.** Controla los movimientos de material dentro de la planta mediante la emisión de solicitudes de movimiento o la importación de la información recopilada en los PLCs. Las solicitudes se utilizan cuando los movimientos de material se realizan de forma manual por operarios, mientras que los autómatas programables permiten conocer la ubicación de cada material que se transporte mediante cintas transportadoras, robots, etc.

- **Gestiona las excepciones.** El MES puede reaccionar a las excepciones producidas en el funcionamiento normal de la planta, realizando acciones correctoras que necesitan ser personalizadas según las necesidades de la empresa.

### 2.4.3.3 Características

Las principales características del sistema MES son las dos siguientes:

- **Sirve de interfaz del sistema de planificación.** Este sistema debe estar conectado con el de planificación para aceptar de éste las órdenes de fabricación y trasladarlas al taller. Las comunicaciones entre ambos equipos deben ser bidireccionales para que, además de enviar las órdenes desde el sistema de planificación al MES, se pueda enviar su estado de cumplimiento de



vuelta desde MES al sistema de planificación. La información de las actividades de la planta incluye datos de mano de obra, cambios en el inventario y progresos en las órdenes de trabajo.

- **Recopila datos del sistema de fabricación.** El sistema permite recopilar información de todas las operaciones que se realizan en el taller permitiendo que la planificación pueda mantenerse actualizada y facilitando la toma de decisiones administrativas, al estar basadas en datos reales. La recopilación de información y la comunicación con los trabajadores se realiza a través de dispositivos de detección e interfaces de control que permiten la entrada o salida de información procedente de los operadores del sistema, o a través de los PLCs descargando y recopilando la información contenida en ellos.

#### 2.4.3.4 Beneficios potenciales

Los beneficios potenciales más característicos del sistema MES son los siguientes:

- **Reduce el tiempo de fabricación.** Puede reducir el tiempo de fabricación de diferentes maneras, una de ellas es la utilización del registro de las tareas realizadas por todos los empleados de la empresa que proporciona el sistema. Esto permite llevar el control de cada uno de los trabajadores y actuar sobre los que no cumplan los tiempos estimados para cada operación de forma reiterada y sin justificación alguna.

- **Elimina el tiempo de entrada de datos.** Este tiempo se reduce debido a la conexión bidireccional del MES con el sistema de planificación, proporcionando una transmisión de datos entre ambos sistemas de forma instantánea.

- **Reduce el inventario de trabajo en proceso.** Se reduce el inventario debido al control en tiempo real de las necesidades de material, productos intermedios, consumibles, etc. Esto permite realizar la fabricación o la compra de estos productos de forma que estén el menor tiempo posible en el taller, obteniéndose así, una reducción de costes.

- **Reduce los plazos de entrega.** Este beneficio viene derivado de la reducción del tiempo de fabricación mencionado en el primer punto y las demás reducciones que se obtienen utilizando este sistema.

- **Reduce el papeleo entre turnos.** El sistema es el que se encarga de almacenar toda la información de las tareas realizadas y evita la creación de papeleo adicional. Por ejemplo, cuando un trabajador realice una operación, ésta quedará registrada en el sistema y no se tendrá que hacer ningún papeleo sobre la misma.

- **Mejora la calidad del producto.** Esto podría ser debido, entre otras razones, al mismo control de los operarios mencionado en el primer punto de esta lista, pero en este caso, se controlaría que los usuarios cumplan los estándares de calidad.

- **Elimina los papeles perdidos.** Toda la información necesaria para la realización del trabajo en planta se encuentra en el interior del sistema MES de forma digital.

- **Controla las homologaciones de los operarios.** Se puede programar para que actúe sobre el PLC de una máquina y que la bloquee en el caso de que el operario que se disponga a utilizarla no tenga la homologación correspondiente para ello.



• **Mejora la respuesta a imprevistos.** Como se ha mencionado anteriormente el MES puede ser programado para realizar actividades que solucionen los eventos imprevistos. La respuesta del sistema es mucho más rápida de lo que podría ser la respuesta manual, por lo que los costes derivados de los imprevistos se ven reducidos.

## 2.4.4 Gestión de mantenimiento asistido por ordenador (GMAO)

La principal función de un sistema de mantenimiento asistido por ordenador (GMAO), o Computerized Maintenance Management System (CMMS) en inglés, es la de programar y realizar un seguimiento de las actividades de mantenimiento preventivo, predictivo y correctivo necesarias para el correcto funcionamiento de las máquinas presentes en el proceso de fabricación de la planta [46].

Otra de las funciones del GMAO es la de mantener un registro detallado del trabajo realizado y de todo el personal y equipamiento disponible para la realización del mantenimiento. Últimamente se tiende a utilizar el sistema aprovechando la tecnología basada en la nube que se está desarrollando actualmente, lo que permite realizar de forma remota el control del mantenimiento correctivo, programar el calendario de mantenimiento preventivo, etc.

Dentro de los campos de utilización del sistema, los más comunes son los siguientes:

- **Mantenimiento de producción.** Se utiliza en empresas cuya actividad es la fabricación de nuevos productos. Están formadas por máquinas, líneas de ensamblaje, montacargas y equipos pesados.
- **Mantenimiento de instalaciones.** Lo utilizan empresas dedicadas al mantenimiento de edificios de apartamentos, teatros, hospitales y demás tipos de edificios públicos. Sirve para ayudar en problemas con el suministro de agua, estructurales, etc.
- **Mantenimiento de flotas.** Se utiliza en empresas de alquiler de vehículos, repartidores, autobuses, flotas de camiones y demás empresas relacionadas con el transporte de personas y mercancías.
- **Mantenimiento de activos lineales.** Cubre el mantenimiento de activos que ocupan grandes distancias como carreteras, tuberías, cables de red eléctrica, cables de fibra óptica, etc.

IDESA no va a realizar la compra de un sistema GMAO actualmente debido a que se tiene pensado comprar un sistema MES que venga con el GMAO incluido. A pesar de esto, podría considerarse la introducción de un GMAO en futuras fases de digitalización de la empresa debido a que diferentes empresas ofrecen la venta de un GMAO independiente conectable al ERP. A modo de ejemplo de las funciones que realiza este sistema (Figura 43) y su interfaz (Figura 44) se ha elegido el software CMMS de la empresa CWorks.

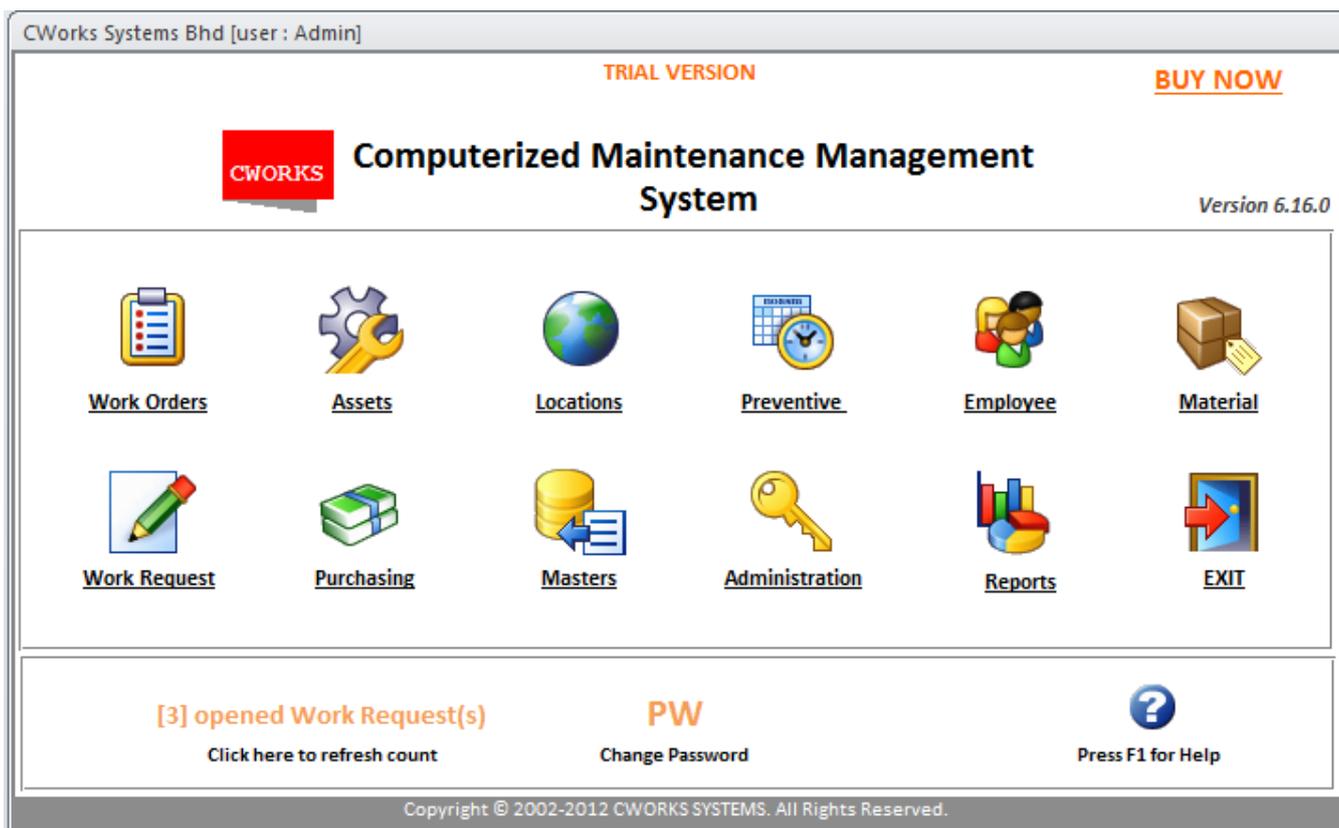


Figura 43: Funciones que ofrece el programa de CMMS de CWorks [47].

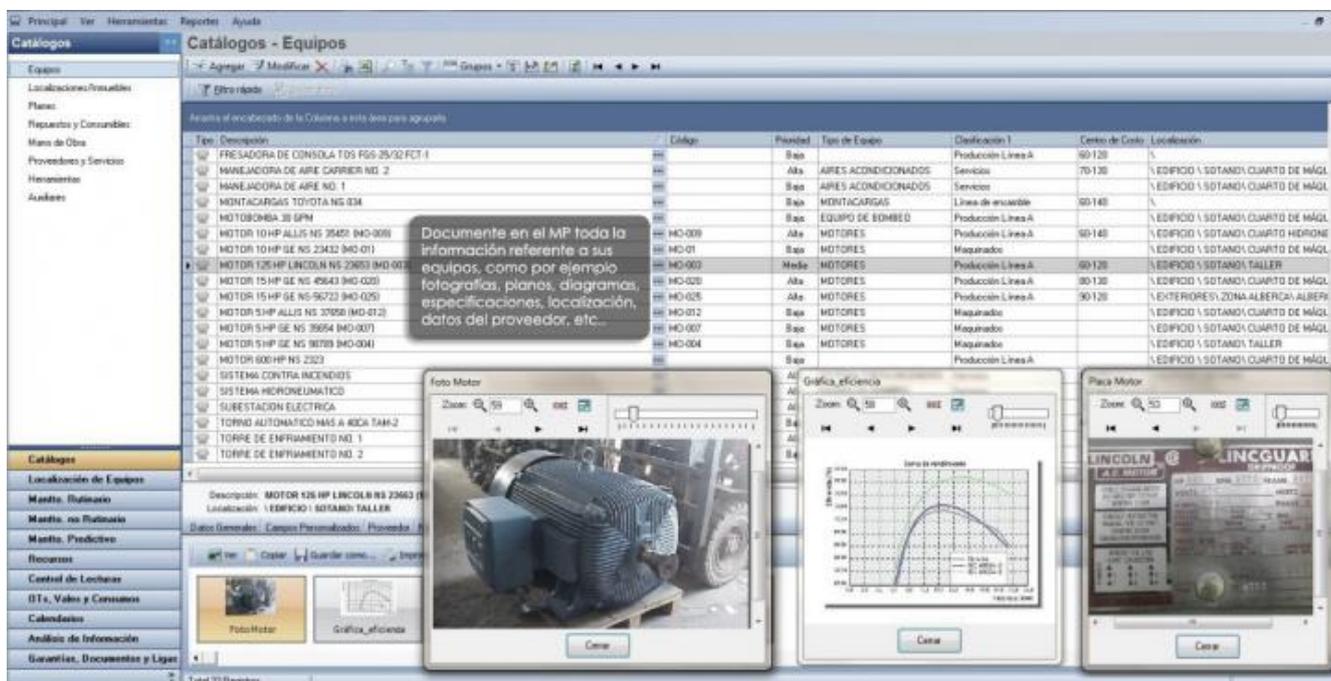


Figura 44: Interfaz del programa de CMMS de la empresa CWorks [47].



### 2.4.4.1 Funciones básicas

Las funciones más comunes que realizan este tipo de sistemas son las siguientes:

- **Realiza un seguimiento de las órdenes de mantenimiento correctivo.** Este programa permite al encargado de mantenimiento introducir en el sistema los problemas que tenga una determinada máquina con el fin de que un operario los solucione. Una vez que la reparación se haya completado, el operario actualizará el estado de la orden de mantenimiento a completado. Este sistema permite al encargado obtener en tiempo real información sobre máquinas y personal, tales como: que máquinas están en funcionamiento, cuáles no, el tiempo empleado para la reparación, etc.
- **Realiza la programación de tareas de mantenimiento preventivo.** Permite realizar un calendario de ordenes de mantenimiento preventivo y enviar recordatorios a los responsables de las tareas asegurándose que no se olviden de realizarlas. Este sistema está especialmente diseñado para programar las ordenes repetitivas y secuenciar las operaciones de mantenimiento de una manera eficiente.
- **Recoge solicitudes de mantenimiento de personal ajeno.** Puede darse el caso de que un trabajador de la empresa pase por delante de la máquina y note un ruido extraño. Proporciona un lugar donde solicitar el mantenimiento de una máquina en todos estos casos de personas que, aun siendo parte de la empresa, no tienen nada que ver con esa máquina en concreto o con las actividades de mantenimiento.
- **Realiza un historial de reparaciones.** El programa archiva la información derivada de cada trabajo de mantenimiento realizado sobre cualquier máquina de la empresa. Guarda los datos generados durante dichas operaciones como quien realizó la reparación, cuanto tiempo tardó, cuál era el problema, etc. Este historial es muy útil debido a que suelen existir problemas que se repiten periódicamente a lo largo de la vida útil de la máquina. Debido a esto el operario de mantenimiento sabrá exactamente cómo reparar la máquina y que problemas podrían surgirle al hacerlo con solo mirar el historial.
- **Gestiona el inventario.** Mantiene un registro del inventario presente en los almacenes de la empresa como pueden ser repuestos para máquinas, suministros, materias primas, etc. Permite ver la cantidad de artículos presentes en el almacén y saber cuándo se utilizaron por última vez entre otras actividades. Esta gestión de inventario permite llevar un mejor control de los materiales presentes en el almacén, pudiendo reducir el nivel de stock presente en el almacén y los costes asociados al almacenamiento.
- **Facilita las labores de auditoría y certificación.** Esto se debe al registro que el sistema mantiene de cada acción de mantenimiento realizada. Permite una comprobación sencilla de las actividades de mantenimiento realizadas, ayudando en las comprobaciones que tengan que realizar los técnicos para acreditar los certificados correspondientes o los auditores en caso de reclamaciones por accidente o seguro.



### 2.4.4.2 Características

Las principales características de un sistema GMAO son las siguientes [48]:

- **Reducción de paros imprevistos.** Se debe a la realización de un correcto mantenimiento preventivo, de esta forma se tiene controlada la vida de la máquina entre paradas dificultando la aparición de averías.
- **Incremento de la vida útil de los equipos.** También se debe, como el punto anterior, al mantenimiento preventivo. Un ejemplo podría ser la reducción del desgaste en piezas críticas del sistema mediante la realización de ciertas operaciones de mantenimiento sobre los equipos de forma periódica.
- **Prevención de accidentes.** Esta característica es debida al registro que el software realiza de operaciones de mantenimiento anteriores, permitiendo al usuario aprender de los errores cometidos en el pasado. Debido a esto se pueden disminuir los riesgos potenciales de una operación de mantenimiento y evitar que se repitan en el presente accidentes ocurridos en el pasado a distintos operarios cuando realizaron la misma acción.
- **Reducción de los niveles de inventario.** El sistema realiza un control de inventario permitiendo al personal de compras conocer las existencias del almacén y su ritmo de consumo. Esto permite realizar las compras de una manera más ajustada al consumo.
- **Mejora el desempeño del personal de mantenimiento.** Debido al historial de averías, el personal de mantenimiento sabe, en la mayoría de casos, la forma en la que debe proceder para arreglar el equipo.
- **Gestión de planes de mantenimiento preventivo.** Permite la creación y modificación de planes de mantenimiento preventivos, garantiza su cumplimiento mediante avisos a los operarios para que realicen las tareas, alarmas al encargado una vez realizadas, etc.
- **Control de toda la documentación.** Permite acceder a toda la documentación derivada de todas las operaciones de mantenimiento cuando sea necesario.

### 2.4.4.3 Beneficios potenciales

Los posibles beneficios derivados de su implantación son las siguientes:

- **Reduce el tiempo de mantenimiento.** El sistema facilita la realización del mantenimiento preventivo, reduciendo averías inesperadas y el riesgo de paradas de trabajo debido a ellas.
- **Mejora la gestión del mantenimiento.** Permite recibir una alerta cuando se completa un trabajo de mantenimiento y llevar un control sobre los operarios mediante el control de las órdenes que realizan, de si las han realizado correctamente, del tiempo que tardan, etc.
- **Permite una distribución de forma más eficiente.** Mediante la organización del mantenimiento preventivo, el programa permite repartir de la forma más equilibrada



posible el trabajo a realizar. De esta forma evita siempre que sea posible que el equipo de mantenimiento esté un tiempo sin hacer nada para, posteriormente, coger horas extra porque ha surgido un problema.

- **Proporciona un historial de reparaciones.** Crea este historial a partir de todas las órdenes de mantenimiento que se realicen, es de gran utilidad para reducir el tiempo de mantenimiento en futuras averías.
- **Permite el ahorro en compras.** El hecho de tener el inventario perfectamente controlado permite al departamento de compras realizar sus funciones de una forma más eficiente. Un ejemplo de esto puede ser el estudio de si es más eficiente la realización de pedidos con mayor número de unidades para asegurarse un menor precio por unidad o el abastecimiento cuando se necesite para reducir el nivel de stock.

## 2.5 Nivel de gestión

A este nivel llega la información procedente de todos los procesos realizados en una fábrica, aunque puede darse el caso de que sean varias, que se utiliza para realizar tareas de gestión como supervisión de ventas, stocks, etc. Para realizar estas actividades se recurre a sistemas operativos como BI o ERP.

### 2.5.1 Business Intelligence (BI)

Los sistemas de inteligencia de negocios realizan un tratamiento de los datos obtenidos al realizar todas las funciones de la empresa con el fin de hacerlos comprensibles para el personal de la empresa y hacer que sean comparables entre sí [49]. Este sistema sirve de apoyo para la toma de diferentes decisiones ya que proporciona datos como la productividad de cada una de las plantas de la compañía, las preferencias de los clientes o la rentabilidad de cada uno de los clientes. Actualmente está produciéndose un aumento de la popularidad de este tipo de sistema vinculado con la mejora de la tecnología de Big Data.

La incorporación de un sistema de Business intelligence es algo que, a día de hoy, no se ha tenido en consideración en IDESA, aunque sí que se está utilizando en otras empresas del Grupo Daniel Alonso. Una herramienta de este estilo es el Power BI de Microsoft, en la Figura 45 se pueden ver algunos de los gráficos y funciones que proporciona este sistema. En la Figura 46 se muestra la interfaz del software junto con varias de las funciones que permite realizar a partir de los datos obtenidos.

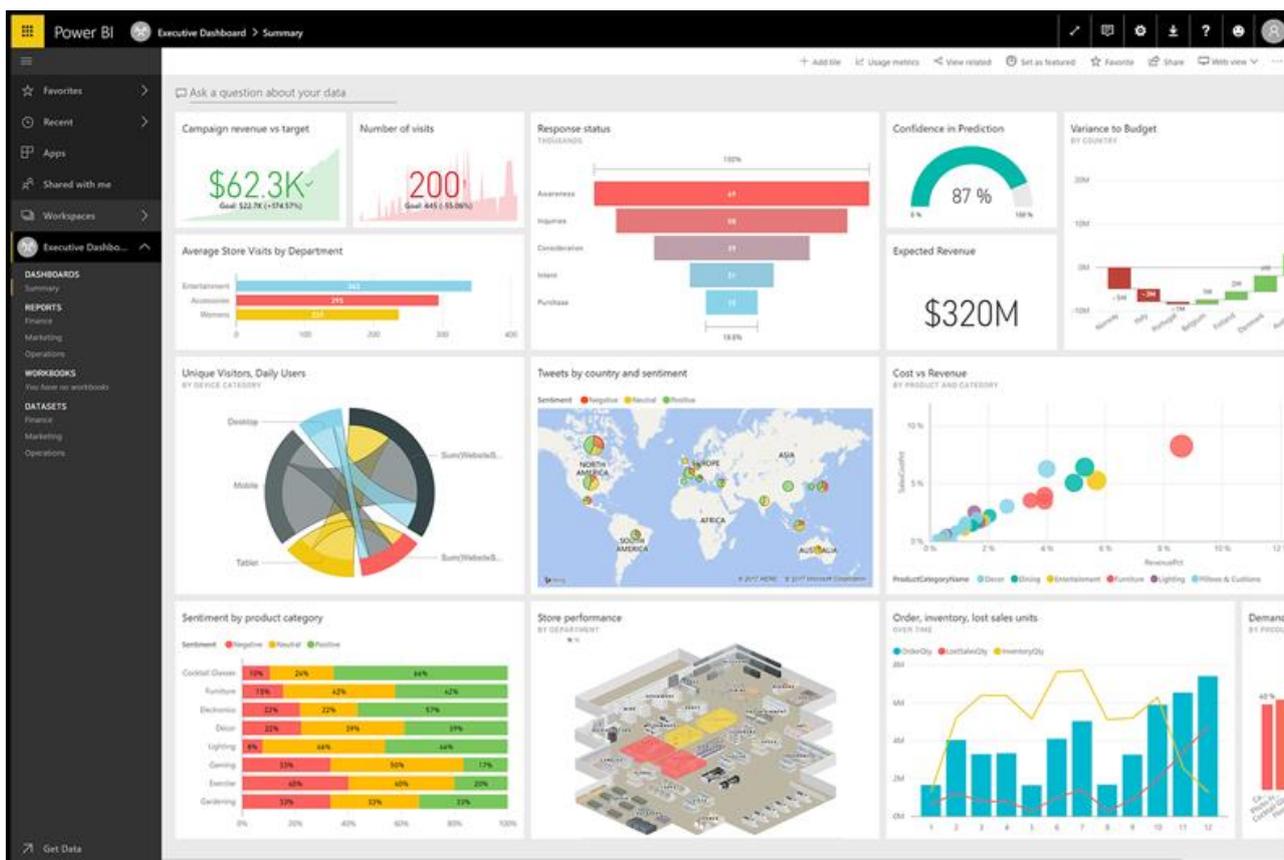


Figura 45: Características del software Power BI de Microsoft [50].

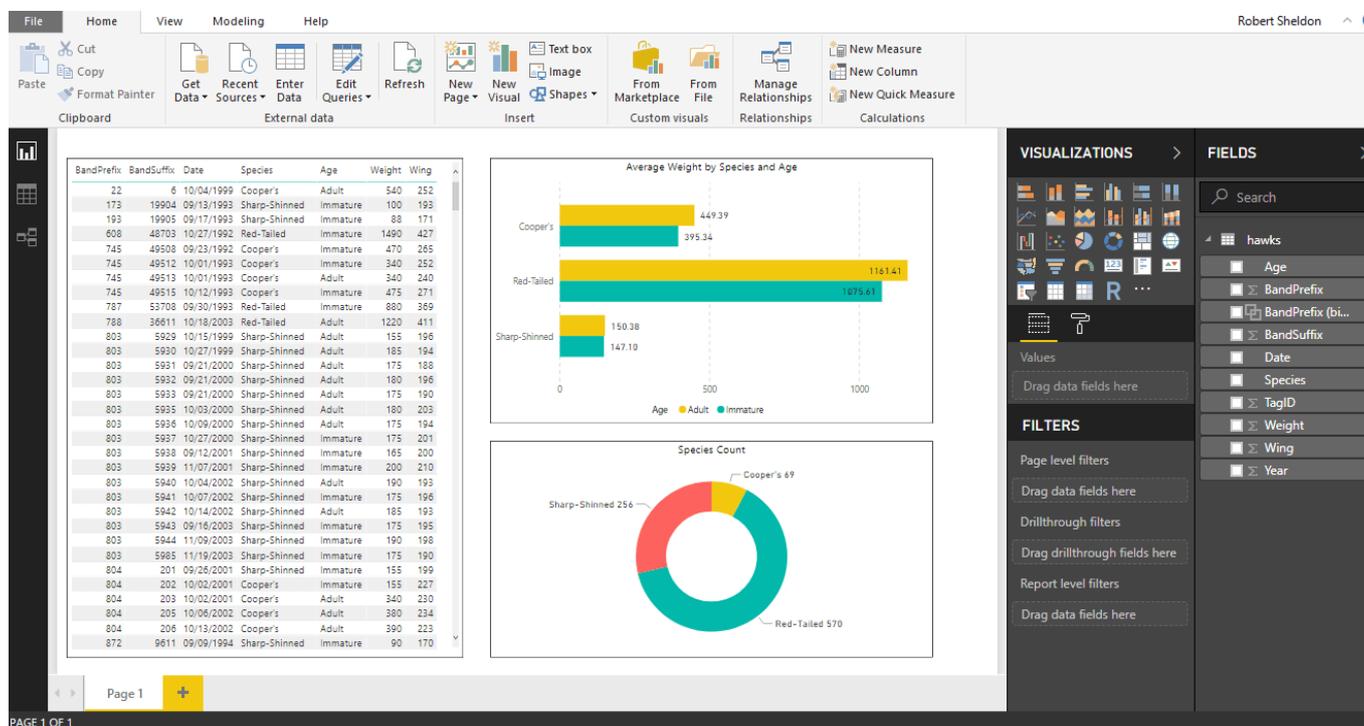


Figura 46: Interfaz del programa Power BI de Microsoft [51].



### 2.5.1.1 Funcionamiento

Para realizar estas funciones mencionadas el programa realiza un ciclo que consta de tres fases: Obtención de datos, minería de datos y visualización de resultados.

#### Obtención de datos

Este programa obtiene los datos que trata fundamentalmente del ERP, aunque los datos derivados de las relaciones con los clientes que pueden ser gestionados por un software CRM independiente en caso de no utilizar el propio módulo CRM del ERP. Esta información es almacenada en unos almacenes de datos accesibles a otros sistemas y aplicaciones de la empresa.

Para almacenar los datos en esos almacenes es necesario realizar un procedimiento conocido como Extract, Transform and Load (ETL), extraer, transformar y cargar en español. Este proceso se realiza mediante herramientas ETL, que pueden o no estar incluidas en el software BI. Realizan la migración y normalización de los datos procedentes de otros sistemas para después almacenarlos en los almacenes de datos. Estos tres procesos consisten en:

- **Extracción.** Es el proceso de extraer los datos de sus sistemas de origen, lo más común es que estos datos sean no estructurados. Datos no estructurados son aquellos que no se adaptan a filas o columnas, lo que dificulta su análisis, para solucionar este problema se pueden etiquetar con metadatos.
- **Transformación.** Se realiza el tratamiento de los datos garantizando que puedan ser analizados por el sistema BI (normalizado).
- **Carga.** Es el último proceso del ETL, consiste en la carga de los datos en una base de datos, generalmente en el almacén de datos mencionado previamente. La frecuencia de carga varía en función de la empresa, puede cargar datos diariamente, semanalmente, etc.

#### Minería de datos

Una vez que se tienen los datos normalizados en el almacén de datos, la siguiente fase es la realización de su análisis (minería de datos). Este análisis consiste en la utilización de métodos automáticos y semiautomáticos para encontrar anomalías, patrones y correlaciones en los datos y realizar predicciones sobre ellos. Existen tres métodos de análisis de datos [52]:

- **Modelado descriptivo.** Realiza el estudio de datos para descubrir similitudes o agrupaciones compartidas que permitan realizar acciones y obtener conclusiones sobre los resultados analizados. Por ejemplo, permite organizar los clientes según sus preferencias, a partir del registro histórico de ventas. Algunas de las técnicas utilizadas en este modelo son:
  - **Agrupación en clústeres.** Consiste en la realización de una agrupación de los datos de registros similares.
  - **Detección de anomalías.** Permite identificar los valores anómalos obtenidos y permite al usuario decidir si son errores y borrarlos o considerarlos en el análisis.
  - **Aprendizaje de reglas de asociación.** Permite detectar las relaciones existentes entre los diferentes registros.



- **Análisis de componentes principales.** Complementa el punto anterior detectando las relaciones existentes entre cada campo de cada uno de los registros.
- **Agrupación por afinidad.** Es la técnica que permite realizar el ejemplo anterior, en general permite la agrupación de personas con intereses comunes o metas similares.
- **Modelado predictivo.** Este método consiste en la realización de análisis de datos para estimar eventos que se vayan a producir en el futuro, por ejemplo, se puede calcular la probabilidad de que un proveedor vaya a cumplir los plazos de entrega basándose en las anteriores relaciones con él. Estas funciones se realizan mediante:
  - **Regresión.** Es un proceso estadístico que permite analizar la relación entre variables.
  - **Redes neuronales.** Programas informáticos que permiten realizar la detección de patrones, a partir de los cuales hacen predicciones sobre los hechos futuros.
  - **Árboles de decisión.** Son unos diagramas en forma de árbol que van representando todas las acciones posibles que puedan ocurrir en todo el proceso representado.
  - **Máquinas vectoriales de soporte.** Consiste en realizar modelos de aprendizaje basados en el uso de algoritmos de aprendizaje.
- **Modelado prescriptivo.** Se utiliza para tratar los datos no estructurados con el fin de permitir su inclusión en modelos predictivos y mejorar sus estimaciones. El modelado prescriptivo recomienda las acciones a realizar a partir de las variables y restricciones internas y externas presentes en los datos. Algunas de las técnicas utilizadas en este modelo son:
  - **Analítica predictiva más reglas.** Consiste en la creación de reglas a partir de patrones para realizar la predicción de eventos futuros.
  - **Optimización del marketing.** Esta optimización se realiza mediante simulaciones en tiempo real hasta obtener la mejor opción.

### Visualización de resultados

La última tarea que realiza este programa es la de permitir al usuario la observación de los análisis realizados para facilitar la toma de decisiones. Existen dos alternativas para ello: la primera consiste en la representación gráfica de los análisis realizados en la minería de datos, mientras que la segunda es la realización de un informe a partir de esos datos.

#### 2.5.1.2 Beneficios potenciales

Los beneficios potenciales derivados de la utilización de un software de inteligencia de negocios son [53]:

- **Ayuda a aumentar la eficiencia de la empresa.** Mediante la utilización de este software se evitan los tiempos no productivos de búsqueda de información al tenerla almacenada en los almacenes de datos mencionados anteriormente.
- **Aumenta la rapidez de la toma de decisiones.** Es debido a la función del Business Intelligence de presentar los datos tratados a la directiva. El hecho de obtener estos datos



organizados y tratados evita que el propio personal tenga que realizar una búsqueda de datos reduciendo el tiempo empleado en la toma de decisiones.

- **Mejora la calidad de las decisiones.** Permite la toma de decisiones basadas en datos adecuados y bien estructurados recogidos de los clientes en vez de basadas en las creencias o intuición de los directivos.
- **Conocer las preferencias de los consumidores.** Este software permite el análisis de los hábitos de compra de los clientes. Esta información permite realizar diferentes actividades realizadas con los clientes como: realizar promociones, campañas de fidelización, etc.

## 2.5.2 Enterprise resource planning (ERP)

Enterprise resource planning (ERP) o sistema de planificación de recursos empresariales en español, es un software compuesto por un conjunto de módulos que sirve para estandarizar, racionalizar e integrar los procesos empresariales en todos los departamentos de la empresa [54]. En la Figura 47 se puede observar un ejemplo típico de un sistema ERP, donde se muestran los módulos más comúnmente utilizados hoy en día. Las funciones que realiza el ERP en cada uno de los departamentos de la imagen se explicarán más adelante.

Sus principales funciones son las de obtener una integración completa de la empresa, y la de facilitar el flujo de información dentro de ella, sirviendo ésta de ayuda a los directivos en la toma de decisiones empresariales. Sin el ERP dicha toma de decisiones resultaría mucho más compleja e incluso podría realizarse de manera equivocada. Esto es debido a que la persona encargada de dicha labor debería buscar la información necesaria en múltiples fuentes, pudiendo perderse parte de ella en el proceso.

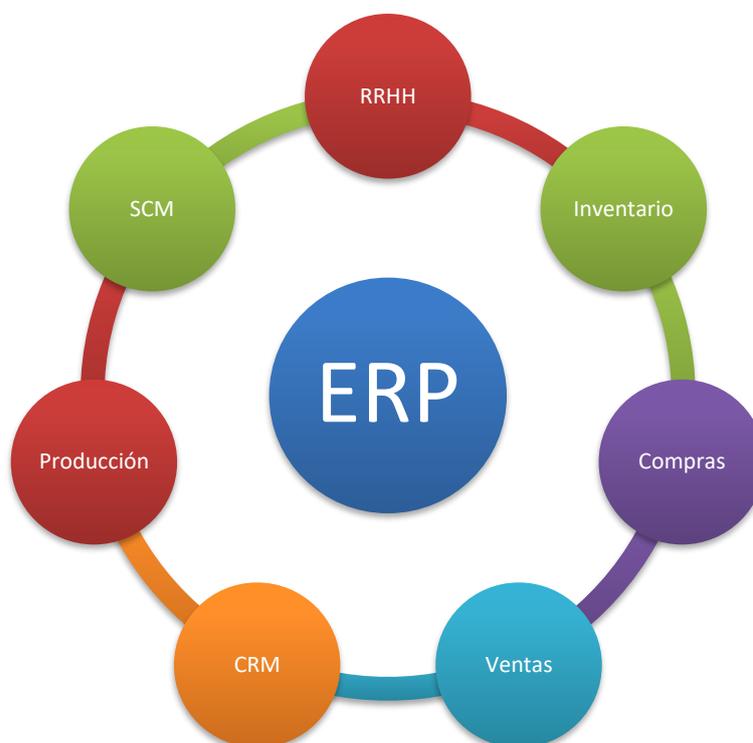


Figura 47: Módulos más comunes en un ERP (elaboración propia).



En este caso no se puede mostrar el software utilizado por la empresa porque no es un software comercial, sino que es de creación propia. Se ha optado por mostrar, a modo de ejemplo, la interfaz (Figura 48) y los diferentes módulos (Figura 49) que tiene el ERP comercial de APPLUS+.

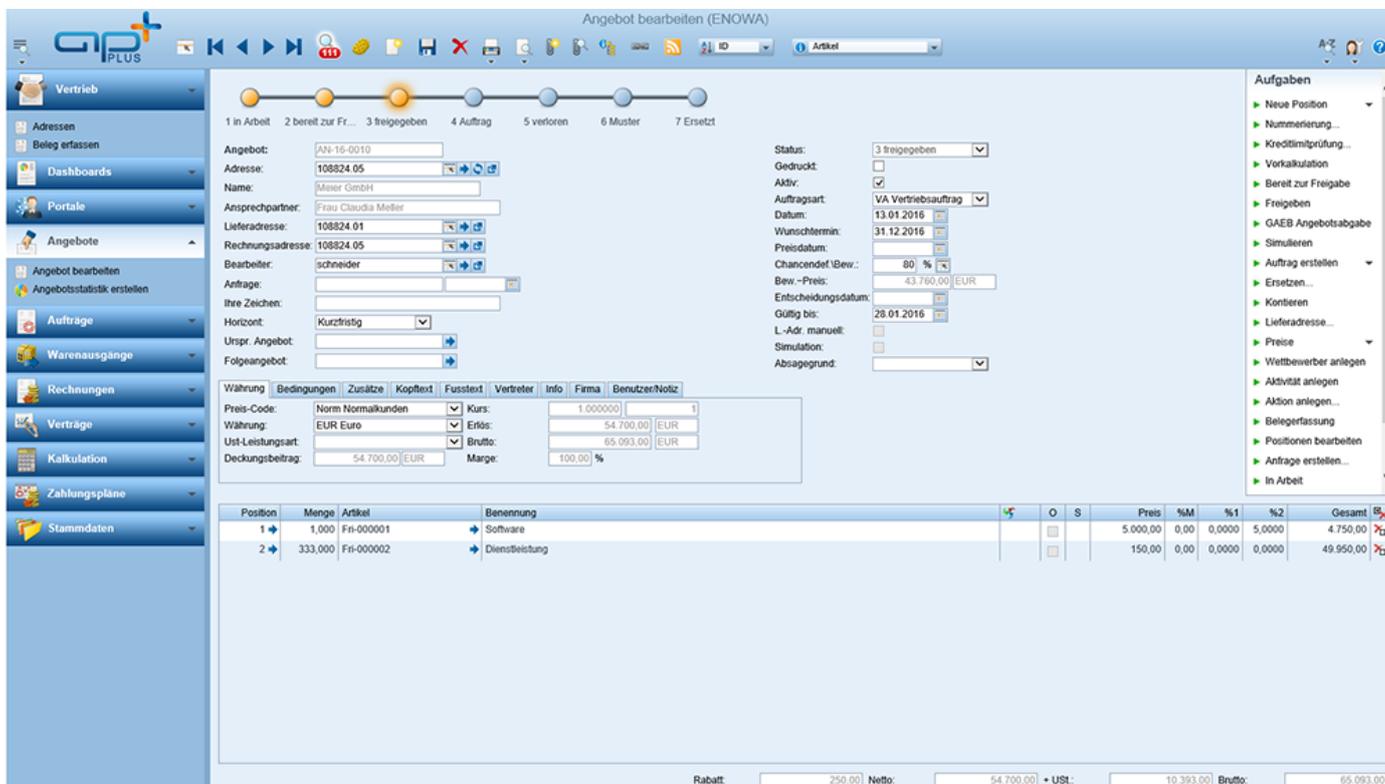


Figura 48: Interfaz del programa ERP de APPLUS+ [55].



Figura 49: Módulos del programa ERP de APPLUS+ [56].



### 2.5.2.1 Funciones básicas

Las funciones básicas que realiza el ERP dependen del tipo de módulos que se utilicen, existen una gran variedad de ellos pero los más comunes son los que han sido mostrados previamente en la Figura 47, los siguientes [57]:

#### **Módulo de recursos humanos (RRHH)**

Un sistema ERP puede asistir al personal de recursos humanos en las diferentes tareas que llevan a cabo durante su vida laboral. Ayuda en los procesos de selección de nuevos empleados, realiza un seguimiento de la productividad de cada trabajador, gestiona permisos y fechas de vacaciones, facilita la elaboración de las nóminas, envía encuestas y noticias, etc.

#### **Módulo de inventario**

El ERP ayuda a la administración del almacén, realizando diferentes tareas, como pueden ser: localizar artículos dentro del almacén, realizar un seguimiento de las existencias, etc.

Este módulo está muy relacionado con el de compras, que se explicará a continuación, porque le suministra toda la información necesaria para el reabastecimiento de elementos consumibles en la fabricación y demás elementos presentes en el almacén.

#### **Módulo de compras**

Este módulo se encarga del aprovisionamiento de consumibles, equipos, materias primas, etc. También incluye información sobre los principales proveedores de la empresa y artículos que suministran y realiza funciones como solicitar, recibir y analizar un presupuesto o actualizar las existencias. Para realizar dicha actualización de existencias, el sistema se integra con el módulo de inventario, descrito en el apartado anterior y el de ingeniería, que se explicará posteriormente.

#### **Módulo de ventas**

Este módulo permite la realización de informes y análisis, aceptación de pedidos, generación de facturas, seguimiento de pedidos pendientes, etc. Se integra con el módulo de gestión de relaciones con los clientes (CRM), que se va a describir a continuación, para trabajar en la captación de clientes potenciales y creación de futuras oportunidades.

#### **Módulo de gestión de relaciones con los clientes (CRM)**

El módulo de gestión de relaciones con los clientes ayuda a crear, almacenar y gestionar información proveniente de las interacciones con los clientes. Ejemplos de estas interacciones son las llamadas y reuniones entre miembros de la empresa y dichos clientes, compras realizadas a la empresa, etc. Entre las ventajas potenciales de este módulo está la de incrementar las ventas debido a una mejoría en los servicios ofrecidos a los clientes y la relación con los mismos.

#### **Módulo de producción**

Este módulo incluye diferentes funciones, tales como control de producción, sincronización de procesos, evaluación de calidad, ajuste automático de los procesos (basado en análisis de costes y en previsiones), etc.



## Gestión de la cadena de suministros (SCM)

El módulo de gestión de la cadena de suministro se encarga del flujo de productos entre la empresa y el cliente. En concreto realiza tareas como gestión de la demanda de equipos, realización de un seguimiento del transporte, gestión de reclamaciones, gestión de envíos, etc.

### 2.5.2.2 Características

Las principales características presentes en la mayoría de software comerciales de este tipo son las siguientes:

- **Integración de la empresa.** Consiste en una integración de extremo a extremo de todas las funciones realizadas por la empresa, obteniendo así una mejor organización y, por tanto, un mejor funcionamiento. Por ejemplo, un nuevo pedido gestionado por el departamento de ventas transmitiría automáticamente sus detalles técnicos al departamento de ingeniería para que realice el cálculo de los equipos, éste al departamento de planificación para que se calcule el tiempo que se tarda en realizar su fabricación, etc.
- **Operaciones en tiempo real.** Las tareas realizadas por los diferentes departamentos de la empresa van cambiando con el tiempo, siendo necesario la correcta adaptación del Software a dichos cambios. Esta necesidad se muestra en el ejemplo anterior, ya que para que se ahorre tiempo utilizando el ERP, la información transmitida desde ventas a ingeniería deberá hacerse instantáneamente. En caso contrario, sería más eficiente la elaboración de un documento y su envío por email.
- **Base de datos común.** Esta característica permite la eliminación de informaciones duplicadas, evitando así los problemas que éstas podrían llegar a causar. Podría darse el caso de que se haya introducido una misma información en dos bases de datos diferentes, hechas por distintos departamentos. Esto podría llevar, en el mejor de los casos, a una pérdida de tiempo al tener que comprobar la información o, en el peor, a la toma de una decisión errónea. Con una base de datos común, la información se registra una sola vez, pudiendo accederse a ella desde varios departamentos.

### 2.5.2.3 Beneficios potenciales

Las potenciales ventajas de un sistema ERP se relacionan con una mejora del rendimiento de la compañía. En concreto son las siguientes:

- **Mejora la eficiencia interna.** Estos sistemas permiten a la empresa reducir el tiempo empleado en realizar la práctica mayoría de las funciones de la empresa.
- **Mejora la toma de decisiones.** Como se ha comentado anteriormente, el hecho de tener una base de datos con toda la información de la empresa facilita el proceso de toma de decisiones.
- **Proporciona una mayor adaptabilidad.** La estandarización y la simplificación dan como resultado estructuras menos rígidas. Provocando que a la empresa le resulte más sencilla su adaptación a nuevas situaciones.



- **Mejora el control de la ciberseguridad.** Mejora el control de la ciberseguridad debido a que permite centrar la seguridad en una única base de datos. Aunque, hay que tener en cuenta que la seguridad de dicha base de datos es crítica, ya que en ella se encuentra la información de toda la empresa.
- **Reduce la utilización de diferentes Software.** Al utilizar un sistema ERP, los diversos departamentos que forman la empresa no necesitan programas independientes. Eliminando así las incompatibilidades entre programas y reduciendo la posibilidad de errores.
- **Proporciona información sobre el cliente.** La mayoría de los sistemas ERP proporcionan un módulo de comunicación con el cliente. Dentro de este módulo se producen las interacciones con el cliente, como pueden ser pedidos, entregas, devoluciones, etc. Estas interacciones proporcionan información sobre sus necesidades y comportamiento.
- **Facilita la presentación de documentación a la administración.** Un ERP genera todos los documentos necesarios para cumplir con las obligaciones fiscales.



## 3 COMUNICACIONES

En este capítulo se definen las redes de comunicación existentes entre estaciones (sistemas operativos, PLC's, ordenadores, etc.), se realiza mediante caminos o enlaces por los que se envía y recibe información [58]. El sistema de comunicación debe permitir:

- **Identificar las estaciones que conforman la red.** Direccionamiento.
- **Fragmentar y reconstruir la información.** Cuando se vaya a enviar un gran volumen de datos (por ejemplo: una fotografía, un vídeo, etc.), la estación emisora debe poder fragmentar esos datos en trozos más pequeños a la vez que la estación receptora debe poder identificarlos y reconstruirlos obteniendo la información enviada.
- **Compactar los mensajes.**
- **Establecer conexiones y la multiplexación o demultiplexación de canales.** La multiplexación se realiza cuando se envía la información de diferentes sistemas en un mismo medio. El multiplexor obtiene la información a transmitir por los canales y los envía realizando divisiones por frecuencia o tiempo. Una vez la información llegue a su destino se realiza la demultiplexación de los canales.
- **Controlar los errores durante la comunicación.** Permite detectar, corregir y recuperar los errores causados por la pérdida de paquetes o por el deterioro de la información debido, en la mayoría de los casos, al ruido en el medio de transporte o al fallo en algún equipo intermedio.
- **Manejar las congestiones y controlar del flujo de la información.** Se necesitan mecanismos de control de flujo que permitan regular el intercambio de información de forma que la estación emisora no envíe más información de la que la estación receptora pueda procesar.
- **Sincronizar las unidades de información.**
- **Establecer distintos niveles de prioridad.**

Teniendo en cuenta el nivel jerárquico al que pertenecen según la pirámide mostrada en la Figura 13, Las redes de comunicación son las siguientes:

- **Nivel de gestión.** Los equipos presentes en este nivel se comunican mediante redes de LAN y WAN.
- **Nivel de planificación.** Al igual que el nivel anterior, estos equipos están conectados a redes LAN y WAN.
- **Nivel de supervisión.** En este nivel se suele realizar una conexión a redes LAN.
- **Nivel de control.** A nivel de control se pueden utilizar los buses de campo, aunque actualmente cada vez se utiliza más Ethernet industrial.
- **Nivel de campo.** Se suelen utilizar buses de campo de prestaciones sencillas y sistemas de periferia descentralizada en sustitución del cableado tradicional de los sensores. Para facilitar la comunicación entre sensores se emplea el estándar de comunicación OPC.



## 3.1 Redes de comunicación

Las redes de comunicación que se utilizan normalmente una vez realizada la digitación de la empresa son las cuatro que se van a mencionar en este apartado, redes LAN o WAN para los sistemas operativos del apartado 2.4, Ethernet Industrial para las comunicaciones entre MES y PLC's y bus de campo para las de PLC's y elementos de campo (sensores, actuadores, etc.).

En el caso de IDESA, como ya se ha mencionado anteriormente no se tienen PLC's ni sensores a día de hoy por lo que las únicas conexiones que se realizarán serán entre sistemas operativos. Para estas comunicaciones se pueden utilizar redes LAN o redes WAN, en el caso particular de esta empresa es necesario la utilización de redes WAN debido a que la distancia geográfica entre las oficinas (Gijón) y el taller (Avilés).

### 3.1.1 Redes de Área Local (LAN)

Son redes punto a punto que ocupan una pequeña extensión (unos pocos kilómetros, por ejemplo: Ethernet) [58]. Una red punto a punto es un sistema de comunicación caracterizado por la unión entre dos estaciones, una que emite una información y otra que la recibe, a través de un camino que recorre estaciones intermedias en el caso de no haber conexión directa entre emisora y receptora.

Lo más común es que las redes LAN se conecten mediante una interconexión en bus (Figura 50), es una conexión en la que el medio de comunicación se comparte por todas las estaciones. Esto da lugar a colisiones debido a que dos equipos pueden enviar sus paquetes de información a la vez por el medio compartido. Por esta razón es necesario incorporar un mecanismo de control de acceso al medio.

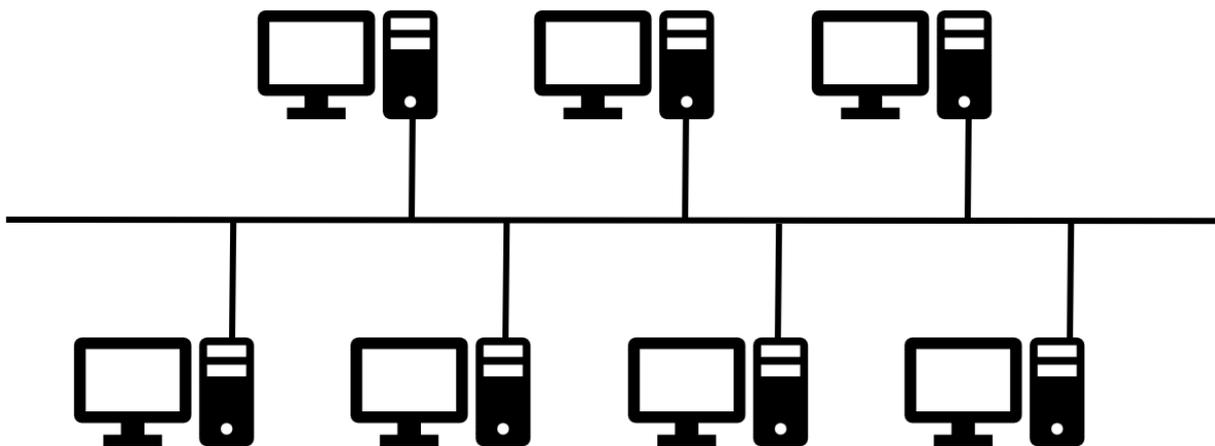


Figura 50: Interconexión en bus redes LAN (elaboración propia).



### 3.1.2 Redes de Área Extensa (WAN)

Las redes WAN también son redes punto a punto con la diferencia de que ocupan una gran extensión (hasta uno o varios continentes, por ejemplo: Internet) [58].

Este tipo de redes suelen utilizar una interconexión parcial (Figura 51), que consiste en una conexión de los diferentes nodos del sistema que permitan el envío de paquetes entre todos los nodos del sistema pero que no todos estén conectados entre sí. Debido a esto se necesitarán estaciones intermedias para la realización de algunas comunicaciones, además de incluir algoritmos de routing.

Los retardos pueden ser relativamente altos en función del número de enlaces y del tráfico existente, así como del origen y del destino. Es necesario incluir algoritmos de routing. El envío de mensajes broadcast no es fácil de implementar.

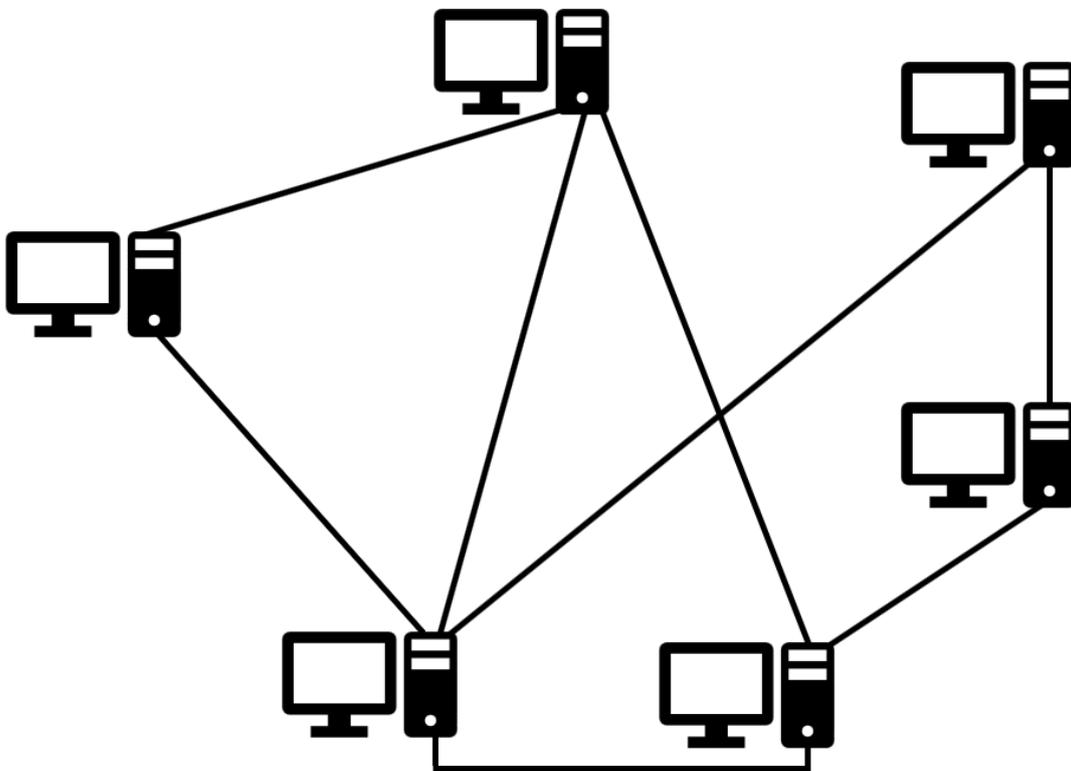


Figura 51: Interconexión parcial en redes LAN (elaboración propia).

En la Figura 52 se muestra la conexión entre las redes WAN y las LAN. Con un fondo verde se puede observar la red WAN con una interconexión parcial, mientras que las cuatro redes LAN conectadas a la WAN tienen una interconexión en bus.

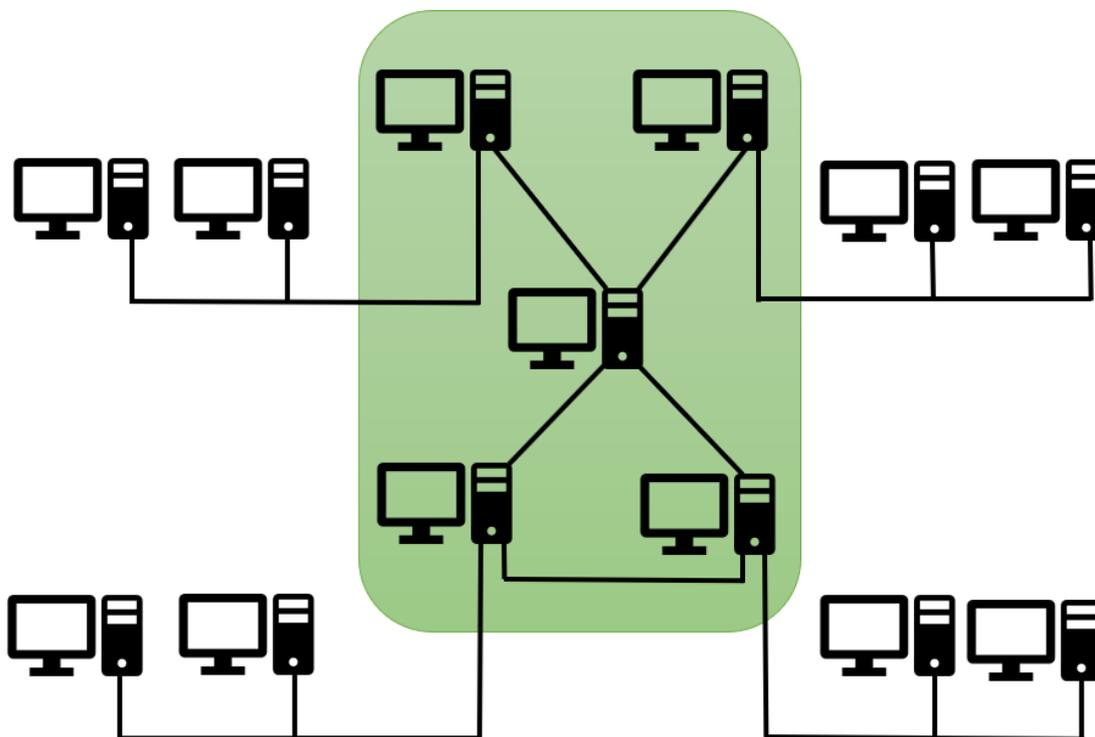


Figura 52: Organización de una red WAN (elaboración propia).

### 3.1.3 Ethernet Industrial

Este tipo de red es una adaptación al ámbito industrial de la red Ethernet, la principal es que se produce un cambio en el medio de transmisión, pasando de ser no determinista en Ethernet a determinista en Ethernet Industrial [58]. Un medio determinista permite conocer el tiempo máximo transcurrido, en condiciones normales, entre el envío de un mensaje y la llegada a su destino. Para entender el funcionamiento de esta red es necesario la explicación de la red Ethernet.

#### 3.1.3.1 Ethernet

Es una red LAN que comprende las dos capas inferiores del modelo OSI<sup>1</sup>, física y de enlace. Como se ha comentado en el apartado anterior se realiza una interconexión en bus y, originalmente, se utiliza un control de acceso al medio CSMA/CD<sup>2</sup>. En cuanto a su hardware, se solía utilizar cable coaxial<sup>3</sup>, codificando la señal en banda base mediante el código Manchester<sup>4</sup>. Actualmente se pueden utilizar otros tipos de cable como par trenzado o fibra óptica, soportando mayores velocidades de transmisión.

Otro de los cambios es el que ha formado el Ethernet Industrial, sustitución del control de acceso CSMA/CD por técnicas de conmutación. Esto agiliza el tráfico de la red, aumenta el ancho

<sup>1</sup> Véase ¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.

<sup>2</sup> Véase ¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.

<sup>3</sup> Véase ¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.

<sup>4</sup> Véase ¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.



de banda disponible, aumenta el número de nodos que se pueden conectar a una misma red local y minimiza la probabilidad de pérdida de mensajes y retardo de propagación.

Los equipos conectados a una red Ethernet soportan protocolos TCP/IP<sup>5</sup>, lo que les permite conectarse a Internet o establecer una red Intranet (red TCP/IP interna con otros dispositivos próximos). Esto permite controlar cualquier equipo desde puntos lejanos teniendo acceso a la red Intranet o Internet.

### 3.1.4 Buses de campo

Bus de campo es un conjunto de redes industriales destinadas a sustituir el cableado tradicional entre los distintos elementos de campo y el equipo de control [58]. En la Figura 53 se puede observar un ejemplo del cableado de los elementos de campo (sensores, actuadores, etc.) a un equipo de control (PLC) mediante la forma tradicional (izquierda) y utilizando un bus de campo (derecha). Normalmente son redes digitales que permiten el transporte de información de forma bidireccional y mediante una interconexión en bus.

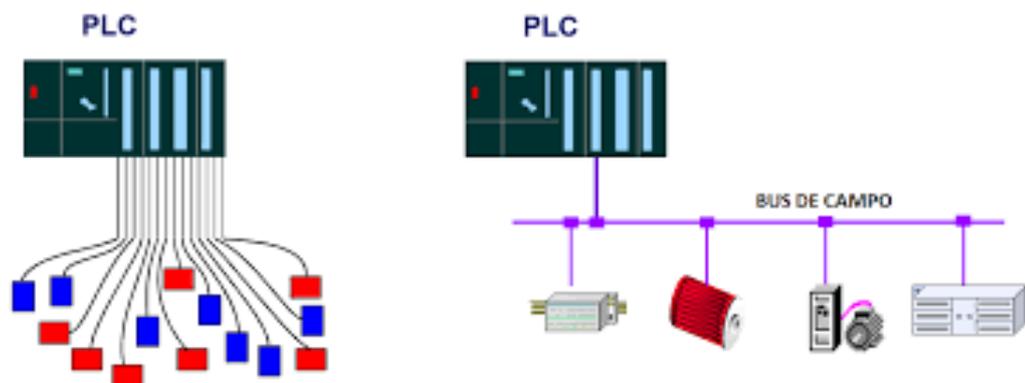


Figura 53: Conexión entre elementos de campo y equipo de control [59].

Se utiliza este tipo de conexión porque permite obtener una reducción de costes debida a la reducción de cableado, ahorro en el coste de mantenimiento y mejora de funcionamiento del sistema.

- **Reducción de cableado.** Este sistema reduce el cableado necesario para el control de la instalación.
- **Ahorro en el coste de mantenimiento.** Este ahorro es debido, entre otras cosas, a la capacidad de estos sistemas de monitorizar todos los dispositivos del sistema, permitiendo detectar la fuente del problema de manera mucho más sencilla.
- **Mejora de funcionamiento.** Se obtiene de diferentes formas como el diseño de sistemas de control más eficientes debido a la obtención de información de la planta a partir de los sensores de forma más simplificada, conseguir un funcionamiento más ágil gracias a que estos sistemas solo utilizan 3 capas del modelo OSI (Física, Enlace y Aplicación) o la mayor flexibilidad que ofrecen en el diseño del sistema al añadir en los propios dispositivos de campo parte de los algoritmos que se incluían anteriormente en el sistema de control.

<sup>5</sup> Véase ¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.



Existen una gran variedad de buses de campo creados por diferentes empresas con prestaciones y campos de aplicación que difieren entre sí. Según sus prestaciones se pueden agrupar en:

#### 3.1.4.1 Buses de baja funcionalidad

Son los que utilizan para controlar elementos sencillos como finales de carrera o relés y actuadores simples. Suelen estar agrupados en una máquina y utilizan dos capas del modelo OSI: física y de enlace. Algunos ejemplos son:

- **CAN.** Bus diseñado por Bosh para la industria del automóvil.
- **SDS.** Está basado en CAN, se utiliza para la integración de sensores y actuadores.
- **AS-I.** Al igual que el SDS también se utiliza para la integración de sensores y actuadores, está diseñado por Siemens.

#### 3.1.4.2 Buses de funcionalidad media

Este tipo de buses permiten el envío de datos de tamaño medio, lo que permite obtener una mayor funcionalidad de los elementos conectados al bus. Permiten realizar acciones sobre el dispositivo tales como configurarlo, calibrarlo o programarlo. Además de las dos capas de los anteriores, este tipo de buses utilizan la capa de aplicación, lo que permite a los usuarios controlar cada uno de los dispositivos y actuar sobre ellos. Algunos ejemplos son:

- **DeviceNet.** Incorpora la capa de aplicación a un sistema basado en CAN, desarrollado por Allen-Bradley.
- **InterBus-S.** Bus de campo alemán de uso común en aplicaciones medias.
- **UNI-TELWAY.** Desarrollado por Telemecanique.
- **Modbus.** Bus de campo con un protocolo de comunicación del tipo cliente/servidor.

#### 3.1.4.3 Buses de altas prestaciones

Se utilizan en una amplia gama de aplicaciones a los que se les exige una características funcionales y seguridad bastante elevadas, ofreciendo una gran cantidad de servicios a los usuarios. Incluyen características como comunicación maestro-esclavo según el esquema pregunta-respuesta, recuperación de datos desde el esclavo con un límite máximo de tiempo, redes multi-maestro con redundancia, etc. Algunos ejemplos son:

- **Profibus.** Bus impulsado por fabricantes alemanes.
- **FIP (Factory Instrumentation Bus).** Bus impulsado por fabricantes y organismos franceses.
- **Fieldbus Foundation.** Bus impulsado con el objetivo de realizar un estándar internacional.

#### 3.1.4.4 Open Platform Communication (OPC)

Para la realización del intercambio de información por los buses de campo se utiliza esta tecnología. OPC es un estándar de comunicación creado por Microsoft que permite a elementos de los niveles de campo y control intercambiar información eliminando las incompatibilidades producidas al emplear elementos de distintos fabricantes [31].



Utiliza una arquitectura tipo cliente-servidor<sup>6</sup> siendo el cliente el sistema que accede a los datos y el servidor el elemento donde están contenidos. Tomando como ejemplo la comunicación de sensores con un PLC, los sensores serían los servidores porque adquieren la información del proceso y la almacenan para transmitirla al PLC, mientras que este sería el cliente que irá solicitando a cada sensor la información contenida en él.

Como se puede observar en la Figura 54, antes de la aparición del OPC para comunicar las aplicaciones software con los componentes hardware se realizaba con un driver o controlador. La conexión de cada uno de ellos variaba dependiendo del fabricante, y a veces incluso entre drivers del mismo fabricante. Por lo que era necesario que cada aplicación tenga una conexión independiente con cada uno de estos drivers.

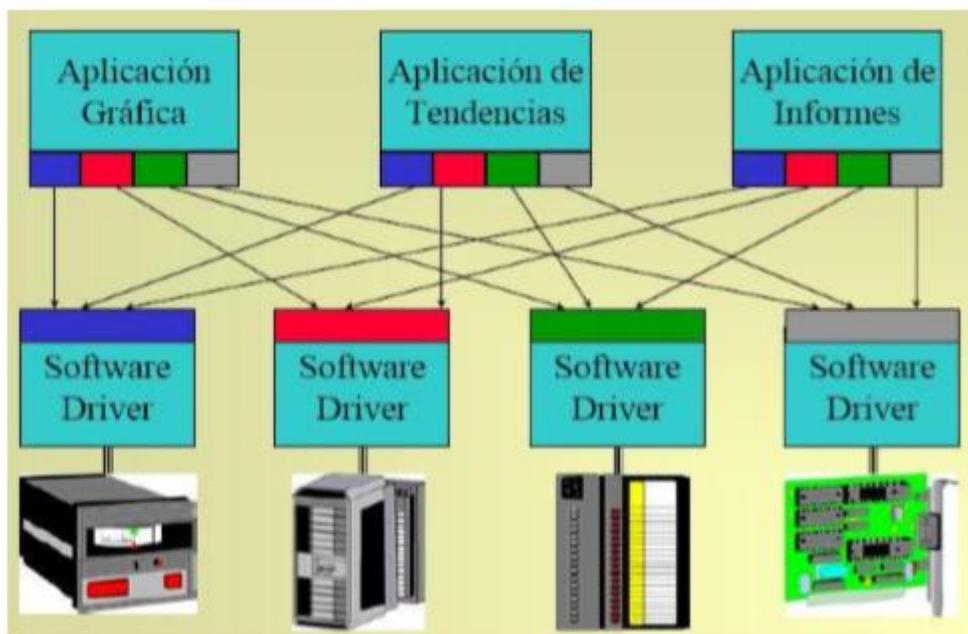


Figura 54: Comunicación de diferentes Software sin OPC [31].

Con la aparición del estándar OPC se facilitó la compatibilidad entre las aplicaciones software y los elementos hardware. Esto es debido a que, aunque todavía se necesita la utilización de un driver para cada elemento hardware, estos drivers son compatibles con OPC por lo que pueden comunicarse con cualquier equipo o aplicación de forma sencilla. Este sistema permite la sustitución de cualquier componente sin necesidad de hacer modificaciones en los demás. En la Figura 55 se muestra un esquema de conexiones utilizando el estándar OPC, como se puede observar en esa imagen el cableado de cada elemento hardware con cada aplicación software de la imagen anterior ha sido sustituido por una interconexión en bus.

<sup>6</sup> Véase ¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..

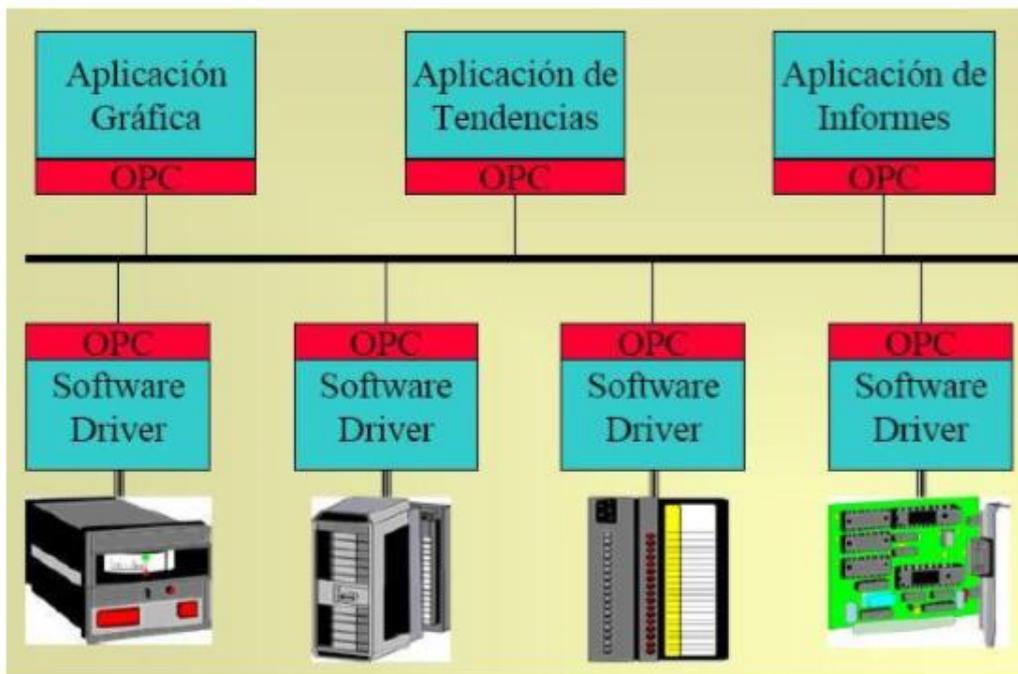


Figura 55: Comunicación de diferentes Software con OPC [31].

## 3.2 Comunicaciones entre sistemas operativos

Las conexiones entre los sistemas operativos necesitan una explicación más en detalle, debido a que en posteriores capítulos se va a hablar del envío de datos entre ellos, por lo que es necesario explicar en detalle que sistemas están conectados entre sí y el sentido de las comunicaciones. Estas conexiones se realizan centralizadas en el ERP, ya que es este el que lleva un control económico de todas las actividades realizadas. Por otra parte, el APS también necesita conexión con todos los sistemas excepto BI, desde los que obtiene la información necesaria para realizar la planificación. Por último, si se introdujese un sistema GMAO, se conectaría con el MES<sup>7</sup>. Todas estas comunicaciones entre sistemas pertenecen a los niveles de gestión y planificación de la Figura 13 mencionados en la introducción. Estos niveles, debido a que manejan una cantidad de datos bastante grande, los únicos medios de comunicación válidos, de los nombrados en el apartado anterior, son las redes LAN o WAN. Las conexiones se explicarán con mayor grado de detalle y entre cada uno de los sistemas posteriormente, pero se muestra un resumen a continuación:

- **Comunicaciones con el ERP.** Como se ha explicado en el párrafo anterior el ERP necesita que existan comunicaciones con el resto de los sistemas excepto con el GMAO (Figura 56). Todas estas comunicaciones son bidireccionales debido a que es necesario realizar tanto el envío como la recepción de información desde el ERP, excepto con el APS, que son desde el APS al ERP.

<sup>7</sup> Estas conexiones se definen con la información de los flujos reales (capítulo 7) hasta donde se han estudiado, el resto se hacen con las recomendaciones generales (capítulo 5).

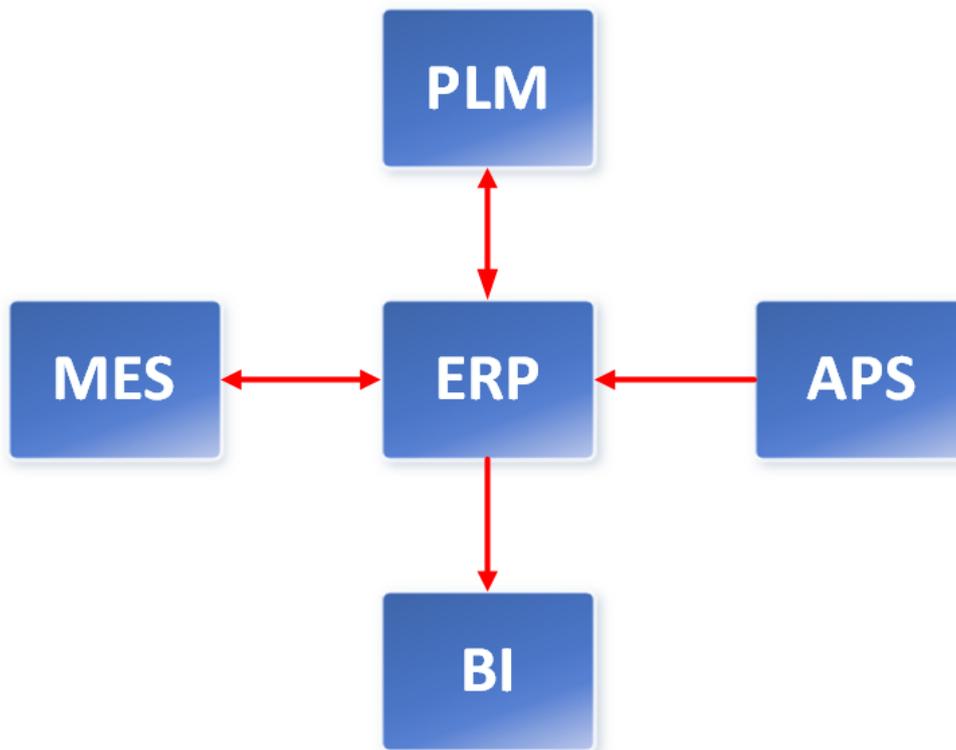


Figura 56: Esquema de comunicaciones del ERP (elaboración propia).

- **Comunicaciones con el APS.** En este caso las comunicaciones deben ser bidireccionales con el MES y unidireccionales con el PLM, desde el PLM al APS, y con el ERP, desde el APS al ERP (Figura 57).

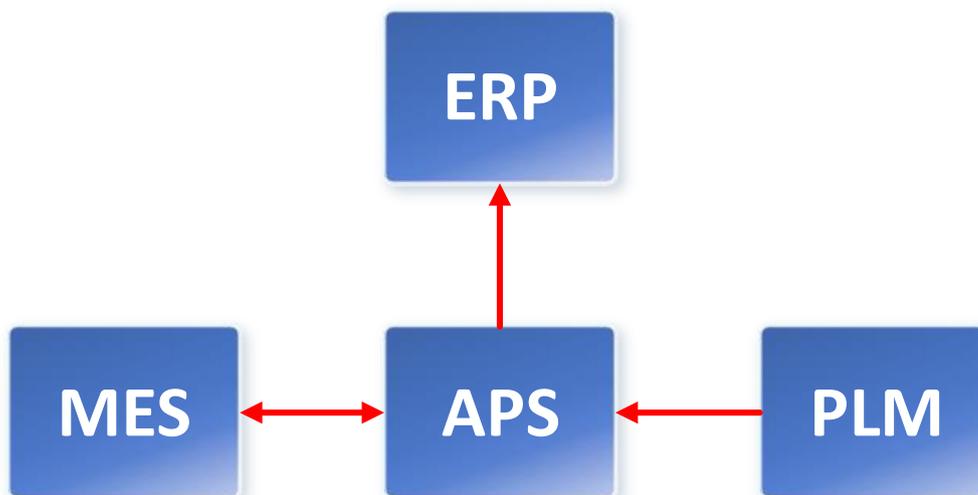


Figura 57: Esquema de comunicaciones del APS (elaboración propia).

- **Comunicación con el GMAO.** El GMAO solo tiene conexión con el sistema MES, esa conexión debe permitir el transporte de información de forma bidireccional (Figura 58).

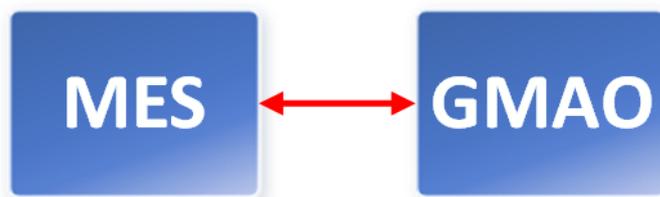


Figura 58: Comunicación entre MES y GMAO (elaboración propia).

Entrando en detalle, en los siguientes subapartados vienen definidas las conexiones realizadas entre cada uno de los sistemas operativos, explicando el motivo del tipo de conexión (unidireccional o bidireccional) y añadiendo algún ejemplo de los flujos de datos que se vayan a realizar. Estos flujos de datos se explicarán con detalle más adelante.

### 3.2.1 Comunicación entre ERP y BI

El BI obtiene los datos del ERP, en caso de que en vez de utilizar su módulo CRM para las relaciones con los clientes se utilice un software específico, también obtiene información a partir de ese software. La comunicación sería únicamente desde el ERP y el CRM al BI.

### 3.2.2 Comunicación entre ERP y PLM

El ERP necesita los datos introducidos por el usuario en el PLM, al mismo tiempo que el PLM necesita la información almacenada en el ERP. Por este motivo es necesario una comunicación directa y bidireccional entre estos dos sistemas.

Un ejemplo de esta conexión, desde PLM a ERP, es el flujo de datos del maestro de materiales, empieza mediante la introducción de los requisitos de material necesario para una nueva orden, así como sus características en el PLM y, de éste pasan al ERP, en donde se realiza su compra.

El ejemplo del párrafo anterior no es válido para mostrar el flujo desde ERP al PLM, ya que el PLM no necesita importar ninguna información del ERP. Por este motivo se va a utilizar otro ejemplo que demuestre la necesidad de una comunicación bidireccional entre ambos. Éste consiste en el flujo de datos del maestro de rutas, en el PLM se necesita el código y la descripción de las tareas, definidas en el ERP, para que se pueda realizar la introducción de todas las tareas que se necesiten en una orden.

### 3.2.3 Comunicación entre ERP y MES

Esta conexión es necesaria debido que en el MES se almacena la información real que se genera al realizar las tareas en el taller, información que debe llegar al ERP para que éste permita a distintos usuarios tener acceso a los datos actualizados. Por otra parte, el MES necesita importar información desde el ERP que le permita realizar sus funciones.



Un ejemplo del envío de información desde el MES al ERP es el del flujo de datos del maestro de almacenes. Consiste en el registro hecho en el sistema MES de la recepción de los materiales en el almacén para una determinada orden y su posterior traslado al ERP.

A su vez, el MES registra el consumo de dichos materiales para lo que necesita obtener desde el ERP la información necesaria que permita identificar de forma inequívoca cada material (flujo de datos del maestro de materiales).

### **3.2.4 Comunicación entre ERP y APS**

Solo debe existir una comunicación unidireccional entre estos dos sistemas debido a que, el APS no necesita información proveniente del ERP para realizar sus tareas. El ERP en cambio, sí necesita información del APS para realizar las compras de materiales o subcontrataciones.

Un ejemplo de la comunicación desde el APS al ERP es el flujo de datos del maestro de almacenes. Este consiste en el envío al ERP de las fechas en las que se necesitan los materiales, obtenidas en la secuenciación de tareas, para que el ERP lance un pedido de compra que las cumpla y permita cumplir los plazos.

### **3.2.5 Comunicación entre APS y PLM**

En este caso el PLM no necesita recibir ninguna información desde el APS por lo que no existe comunicación en ese sentido, mientras que el APS sí que necesita recibir información del PLM por lo que la conexión será unidireccional y desde PLM a APS.

El APS se comunica con el PLM para recibir las tareas de fabricación presentes en una orden, estas tareas son las que utiliza el sistema para realiza la secuenciación y transmitir la información a otros sistemas.

### **3.2.6 Comunicación entre APS y MES**

En el caso del MES se realizará una conexión bidireccional debido a la necesidad de intercambio de información en diferentes flujos presentes.

Un ejemplo de los flujos que transmiten información desde el APS hacia el MES es el envío de la secuenciación de tareas (flujo de datos del maestro de órdenes) una vez que ésta haya sido aprobada por el responsable de planificación, para que el MES registre las tareas realizadas en el taller.

La conexión en sentido contrario también se utiliza en el flujo de datos del maestro de órdenes, desde el MES se transmiten al APS las actualizaciones que se llevan a cabo en las tareas para que el APS actualice la planificación en caso de ser necesario.

### **3.2.7 Comunicación entre MES y GMAO**

La última conexión que falta por detallar dentro de los sistemas operativos es la del GMAO. Como ya se ha comentado anteriormente, la empresa no va a realizar la implantación de este



sistema a la vez que los demás. Sin embargo, puede formar parte de la digitalización y es posible que se implemente en un futuro, por lo que se va a tratar igualmente.

El GMAO solo tiene conexión con el sistema MES, conexión que debe permitir el transporte de información bidireccional. Esto es debido a que el GMAO necesita de la ayuda del MES para interactuar con la planta y el MES no genera planes de mantenimiento. El hecho de que el GMAO no tenga conexión con otros sistemas se debe a que los planes de mantenimiento no tienen efecto en ninguno de los otros sistemas. Esto es debido a que la ejecución de dichos planes, los recursos utilizados y el tiempo empleado, se registran en el MES, desde el que se transmiten a los demás sistemas.

Un ejemplo concreto de esta conexión sería el envío de las órdenes de mantenimiento preventivo desde el GMAO hacia el MES y la petición de realizar mantenimiento correctivo sobre una máquina desde el MES al GMAO.



## 4 ESTRATEGIA DE IMPLANTACIÓN

Uno de los principales puntos a la hora de realizar la digitalización de la empresa es la de los maestros. Estos maestros deberán contener toda la información necesaria para la realización de cada tarea de la empresa que se quiera digitalizar. En este apartado se definirá la información que contiene cada uno de ellos, sus ubicaciones y su flujo de datos. En la Figura 59 se puede ver una tabla resumen de la ubicación de cada uno de los maestros.



Figura 59: Ubicación de los maestros del sistema (elaboración propia).

En la Figura 60 se puede ver un resumen de las principales tareas que se realizan desde la entrada de un pedido hasta la entrega del mismo en la empresa, incluyendo los sistemas que las gestionan y los envíos de informaciones que realizan entre ellos. No se han incluido tareas que no forman parte de la fabricación de un equipo como pueden ser las de mantenimiento.

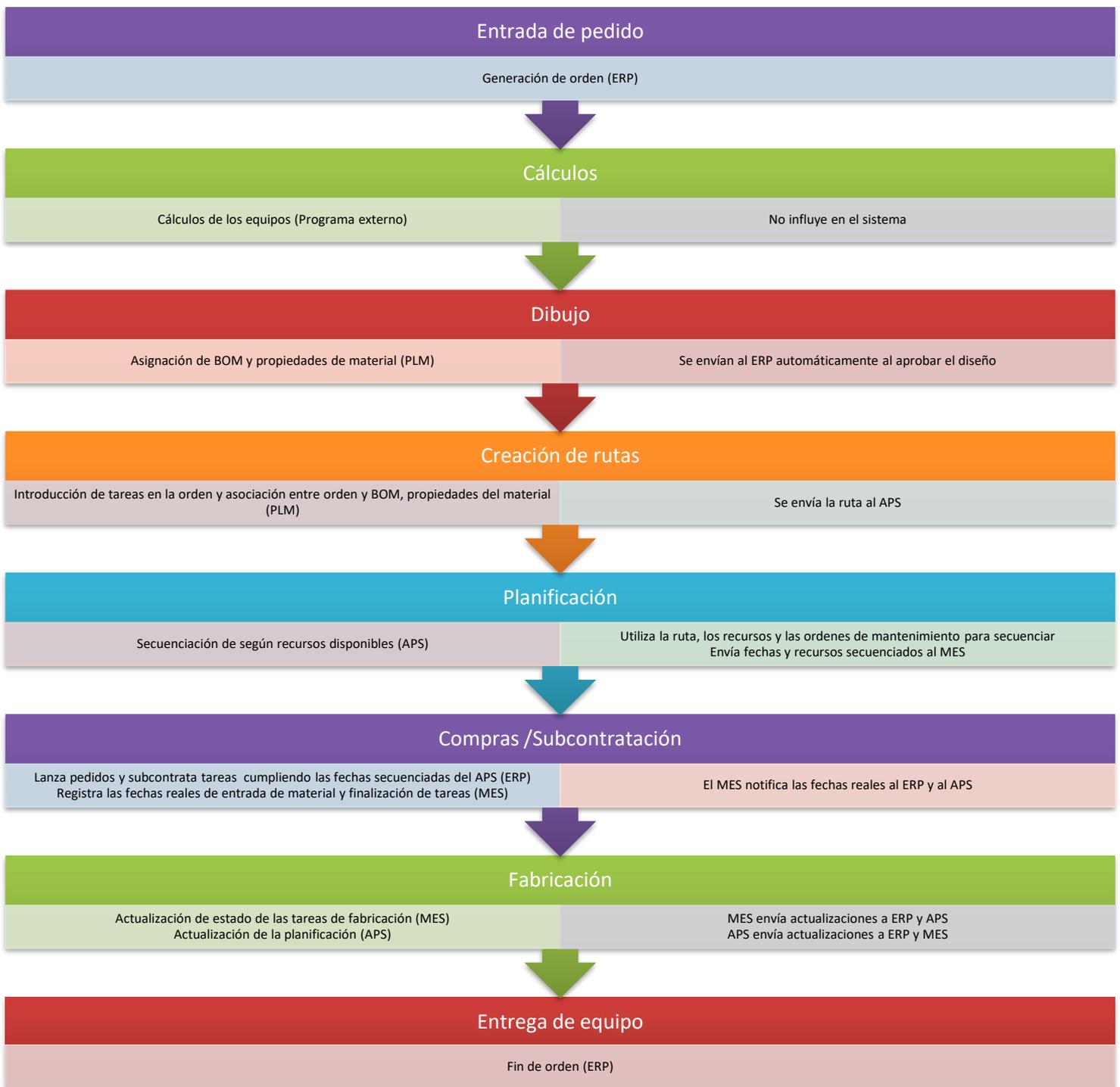


Figura 60: Secuencia de tareas en una orden (elaboración propia).



## 4.1 Maestro de materiales

En el maestro de materiales es donde se realizará la definición de todos los materiales implicados en la fabricación de cada uno de los equipos. Aunque estará ubicado en el PLM, debe ser exportado completamente al sistema ERP ya que es en este sistema en donde se realizan las compras de material. Cada material debe tener, como mínimo, la siguiente configuración:

- **Tipo de material.** Se clasifica el material según la etapa de la cadena de producción en la que esté siendo utilizado. Distinguiendo en un mínimo de tres tipos:
  - **Materias primas.** Son los materiales que se compran a otras empresas y que se toman como base para realizar las diversas operaciones.
  - **Materiales intermedios.** Son aquellos materiales sobre los que ya se ha hecho alguna operación.
  - **Producto final.** Es el material que forma parte del equipo, una vez que ya se han realizado sobre él todas las tareas de fabricación.

Un ejemplo de lo explicado es el siguiente: Una chapa que llega al taller para la fabricación de un equipo y que ha sido almacenada a la espera de ser utilizada, estaría codificada en el sistema como materia prima. Una vez que se realice una operación sobre ella, como, por ejemplo, curvado, sería material intermedio y cuando el equipo esté finalizado sería producto final.

- **Descripción.** Es donde se pueden observar las características técnicas del material, como pueden ser la calidad, composición química o características mecánicas. A modo de ejemplo, se muestra a continuación la descripción de los materiales A-105 y A-106 (A, B y C) según la ASTM en la Tabla 1.



Tabla 1: Tabla ejemplo de la descripción de un material (elaboración propia).

Calidad ASTM	GRADOS	APLICACIÓN	COMPOSICIÓN QUÍMICA EN %									CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS		ALARG. min (%)	DISMIN. AREA min (%)	GRUPO ASME IX	OBSERVACIONES
			Máx C	Máx Si	Máx Mn	Máx P	Máx S	Máx Mo	Máx Cr	Máx Ni	(Máx) Otros elementos	kg/cm <sup>2</sup> L.elast	kg/cm <sup>2</sup> C.Rot				
<b>A-105</b>		Forjado	0,35	0,10 - 0,35	0,60-1,05	0,035	0,040	0,12	0,3	0,4	Va, Cb (Nb)	5,2	9	4	30	1	
<b>A-106</b>	A	Tubos	0,25	0,1 min	0,27-0,93	0,035	0,035	0,15	0,4	0,4	Cu, Va	1	3	2,5		1	
	B	Tubos	0,3	0,10 min	0,29-1,06	0,035	0,035	0,15	0,4	0,4	Cu, Va	4,5	2	4,5		1	
	C	Tubos	0,35	0,10 min	0,29-1,07	0,035	0,035	0,15	0,4	0,4	Cu, Va	8	9	4,5		1	



- **Código.** Se crearán unos códigos únicos que permitan la identificación de cada material durante todo su recorrido en el proceso de fabricación. El material como materia prima tendrá un código, que será actualizado después de que se realice la primera operación, repitiéndose este proceso hasta que el equipo esté finalizado. Un ejemplo, según el tipo material descrito en el primer punto, es el siguiente:
  - **Materias primas.** La primera tarea es la creación de un código para cada material utilizado en todos los equipos realizados hasta la fecha, un ejemplo es el 002506321 (acero tipo 1). Una vez que se reciba una chapa, se le asignará un nuevo código derivado del código del material. Este podría ser 002506322 para la primera chapa recibida, 002506323 para la segunda y similares para el resto o cualquier otra opción que se adapte a las necesidades de la empresa.
  - **Materiales intermedios.** A medida que sobre la chapa se vayan realizando operaciones se irá actualizando el número, de manera que esté siempre relacionado con el material de origen. Continuando con la primera de las numeraciones anteriores, se le asignará el código 002506323 al material una vez que la chapa haya sido biselada (primera operación), el 002506324 una vez que haya sido curvada (segunda operación), y así sucesivamente hasta que el equipo esté acabado.
  - **Producto final.** Una vez finalizada la fabricación, el material tendrá su código que se mantendrá mientras sobre el equipo se realizan las tareas finales como limpieza, pintura, rotulado, etc.

Esta clasificación servirá para que cada uno de los materiales pueda ser identificado, en cualquiera de las operaciones que forma parte del proceso de fabricación por los distintos sistemas. De esta forma se puede controlar de forma más eficiente el movimiento de los materiales durante su paso por cada una de las operaciones del proceso de fabricación y dar el primer paso en la conversión del proceso de compras y subcontrataciones hacia uno más administrativo.

### 4.1.1 Flujo de datos

El flujo de datos sigue el esquema mostrado en la Figura 61, empieza con la exportación de forma automática al aprobar un diseño, desde el PLM al ERP, de la información contenida en este maestro y de la lista de materiales (BOM). Una vez allí el ERP exportará al MES la información del maestro de materiales y la unidad de medida del material, datos que le permitirán registrar el consumo de los materiales y, posteriormente, disponer de su genealogía y trazabilidad. La unidad de medida de cada material es la unidad en la que se gestiona su stock. Desde el MES se enviará al APS la información del maestro de materiales, donde se le añadirá la información proveniente de los maestros de tareas y rutas quedando asociado el material a cada operación a realizar y permitiendo al APS la realización de una correcta secuenciación.



Figura 61: Flujo de datos del maestro de materiales (elaboración propia).

## 4.2 Maestros de usuarios y recursos

Estos dos maestros se van a tratar de forma conjunta debido a que están relacionados entre sí. Ambos son necesarios para la realización de la planificación y la asignación de tareas junto con la definición del calendario de la fábrica, los turnos de trabajo y los equipos de usuarios en el MES. A partir de esta información el APS puede obtener datos como, por ejemplo, que máquinas están disponibles o que trabajadores están homologados para realizar una determinada tarea, además del tiempo real de fabricación.

### 4.2.1 Maestro de usuarios

En este maestro se definen todos los usuarios de la empresa. El maestro de usuarios residirá en el ERP porque, aunque los usuarios son recursos de la empresa como lo son los recursos físicos de la planta (máquinas, utillajes, etc.), la empresa requiere más funcionalidades sobre ellos (contratos, nominas, control de accesos, formaciones, etc.). Esto hace que no se definan en el MES como sí lo hacen los recursos de la empresa.

Aunque no forman parte del maestro de usuarios, también se definen en el ERP las matrices de competencias (ILU). Estas matrices completan la información que se requiere de cada usuario asociándolo con las formaciones, capacitaciones, homologaciones y demás características relevantes. Un ejemplo del tipo de datos que se incluirá en las matrices es la homologación de soldadores. En la Tabla 2 se puede ver una homologación para la norma europea (EN).

Habiendo definido este tipo de matrices para todos los operarios que realicen tareas (Un gerente o un director comercial no las realizarán), se podrá saber fácilmente que trabajador está capacitado para realizar una tarea determinada y secuenciar las tareas según la cantidad de recursos disponibles. Por ejemplo, si se requiere de la realización de una soldadura en un equipo, se sabría que soldadores no tienen tarea asignada y, con los datos de la tabla mostrada en la página siguiente (Tabla 2), se podría comprobar el tipo de material y la posición en la que están homologados para soldar.



Tabla 2: Homologación de soldadores (elaboración propia).

ID	NOMBRE	PROCESO/S DE SOLDADURA USADO EN LA PROBETA	POSICIÓN EN LA QUE SE REALIZA LA PROBETA	NOTAS	MATERIAL DE APORTE USADO EN LA PROBETA	GRUPO/S DE MATERIAL DE APORTE CUALIFICADOS	GRUPO/S DE MATERIAL BASE CUALIFICADOS	HOMOLOGACIÓN	VALIDA HASTA
	Sold. 1	135 + 136	H-L045 (tope)		CARBONO (FM 1)	FM 1 - FM 2	1÷11	<a href="#">DESCARGAR</a>	sep-19
	Sold. 1	136	PC (tope + ángulo)	Según Anexo C	INOXIDABLE (FM 5)	FM 5	1÷11	<a href="#">DESCARGAR</a>	ago-19
	Sold. 1	111	PF (tope)		CARBONO (FM 1)	FM 1 - FM 2	1÷11	<a href="#">DESCARGAR</a>	ago-19
	Sold. 2	121	PA (tope)		-	TODOS	TODOS	<a href="#">DESCARGAR</a>	jul-19
	Sold. 2	121	PB (ángulo)		-	TODOS	TODOS	<a href="#">DESCARGAR</a>	abr-19
	Sold. 2	136	PF (ángulo)		CARBONO (FM 1)	FM 1 - FM 2	1÷11	<a href="#">DESCARGAR</a>	abr-19
	Sold. 2	136	PF (tope)		CARBONO (FM 1)	FM 1 - FM 2	1÷11	<a href="#">DESCARGAR</a>	sep-19
	Sold. 2	136	PD (ángulo)		CARBONO (FM 1)	FM 1 - FM 2	1÷11	<a href="#">DESCARGAR</a>	jun-19
	Sold. 2	136	PC (tope)		CARBONO (FM 1)	FM 1 - FM 2	1÷11	<a href="#">DESCARGAR</a>	sep-19
	Sold. 2	111	PC (tope) + PD (ángulo)	Según Anexo C	CARBONO (FM 1)	FM 1 - FM 2	1÷11	<a href="#">DESCARGAR</a>	jun-19



## 4.2.2 Maestro de recursos

En el maestro de recursos van incluidos los recursos físicos nombrados previamente (máquinas, utillajes, etc.). Además de esto datos, se realizará una modelización de la empresa según la norma ISA S-95, dividiéndola en: Empresa, Fábricas, Áreas, Celdas y puesto de trabajo o máquina.

Estará ubicado en el sistema MES ya que, como se comentó en el apartado anterior, no se necesita disponer de muchas funcionalidades sobre los recursos físicos.

## 4.2.3 Flujo de datos

El flujo de datos del maestro de usuarios consiste en el envío del maestro completo y de las matrices ILU desde el ERP, lugar donde están ubicados, hacia PLM, MES y APS (Figura 62). En caso de que se necesiten, estos datos se podrán descargar directamente del ERP.

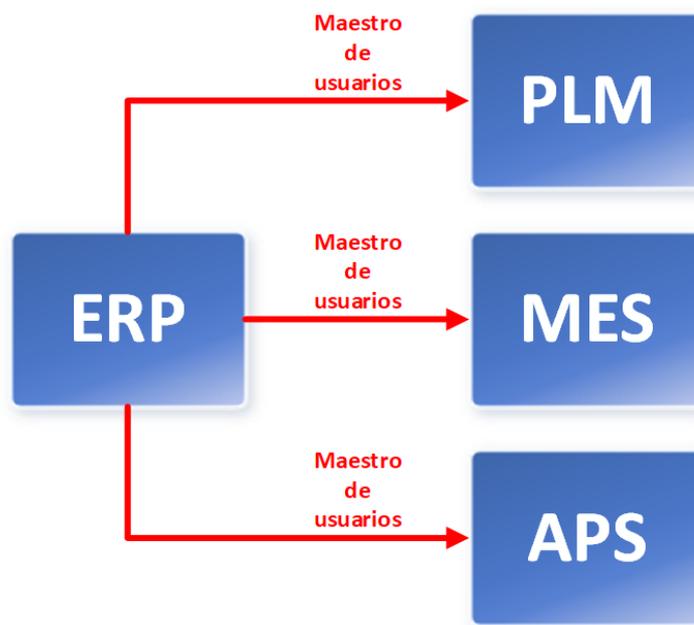


Figura 62: Flujo de datos del maestro de usuarios (elaboración propia).

Las tareas que realiza cada sistema en relación con este maestro son las siguientes:

- **PLM.** La información de los usuarios de la empresa (maestro de usuarios) se utiliza para la asignación de los roles y permisos, dentro del PLM, que sean necesarios para la realización del trabajo diario de un usuario. Estos roles son: creadores de contenido, usuarios de consulta de la documentación o aprobadores dentro de los flujos de trabajo de PLM.
- **ERP.** Se utilizará el maestro de usuarios para la gestión de las diversas funciones mencionadas anteriormente (contratos, nominas, control de accesos, formaciones, etc.) que se llevan a cabo sobre los usuarios y que serán gestionadas por este sistema.



- **MES.** Este sistema utiliza el maestro de usuarios y las matrices ILU para comprobar si el operario que va a realizar una operación tiene la homologación o capacitación necesaria para realizarla. Al inicio las comprobaciones se realizarán por los mandos del taller, dejando para fases posteriores la comprobación en tiempo real. Con esta comprobación en tiempo real se podrá producir el bloqueo de la máquina en caso de que el operario no tenga las certificaciones u homologaciones necesarias, función se explicará con detalle más adelante.
- **APS.** A partir de la información del maestro de usuarios y las matrices ILU se realizará la asignación de tareas a cada usuario, teniendo en cuenta sus capacidades. Para realizar esta secuenciación también se necesitan los datos del maestro de recursos y los turnos y calendario de la fábrica. Estos datos se definen en el MES, por lo necesitan ser importados al APS.



Figura 63: Flujo de turnos y calendario de la fábrica (elaboración propia).

La información contenida en el maestro de recursos, junto con el modelo de planta, serán importados desde el MES al ERP y al APS, y desde el ERP se exportará al PLM (Figura 64).



Figura 64: Flujo de datos del maestro de recursos (elaboración propia).

Las tareas que realizan los diferentes sistemas con estos datos son:

- **MES.** Los datos de este maestro se utilizarán para la gestión completa de la información de todos los recursos productivos, como pueden ser: captar los estados de la máquina a partir de su PLC o disponer de la configuración de velocidades u otros parámetros del recurso en función de la tarea.



- **ERP.** La información de este sistema se utilizará para realizar un control económico de las tareas productivas realizadas. Esto se realizará mediante el control de las horas de los recursos asociadas a una tarea.
- **PLM.** Este sistema necesita la información del maestro de recursos para añadir los recursos necesarios a cada una de las tareas, serán añadidos como una o varias propiedades de la tarea. Esto se realizará mediante la selección de los recursos necesarios a partir de un desplegable en el apartado propiedades de cada una de las tareas. Se van a crear unas plantillas para realizar la planificación que se explicarán posteriormente. En estas plantillas se podrán predeterminar los recursos necesarios para cada tarea, permitiendo su modificación por el responsable de la tarea si es necesario.
- **APS.** Como se ha comentado anteriormente, para realizar la secuenciación de tareas el sistema APS necesitará saber los recursos (máquinas, la cantidad de utillajes, etc.).

El ERP necesita las horas recursos empleadas en cada tarea para realizar un control económico del mismo. Actualmente la mayoría de las tareas se realizan de forma manual, por lo que se hablará de Horas Hombres (HH), entiendo por esto la cantidad de horas que dedican los usuarios a la realización de una tarea concreta. Como se puede observar en la Figura 65, los registros de HH realizados en los sistemas MES y PLM se trasladan al ERP. Cada sistema realiza la gestión de un tipo distinto de HH, los dos tipos que se gestionan son: HH dedicadas a tareas productivas y HH dedicadas a tareas no productivas:

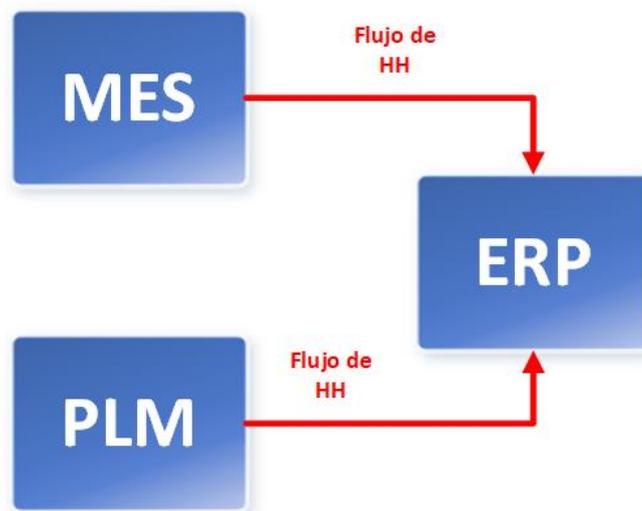


Figura 65: Flujo de tiempos del maestro de usuarios (elaboración propia).

- **HH de tareas productivas.** En el MES se registran las horas que dedican los empleados a la realización de una tarea productiva. Un método para realizar la imputación de horas es el que se realiza actualmente en el ERP. Se contabilizan las horas dedicadas a cada tarea mediante dos fichajes, uno antes de empezar y el otro cuando la tarea esté realizada. Estas horas se trasladan al ERP para realizar un control económico de los costes reales de las tareas productivas.



- **HH de tareas no productivas.** Estas horas serán imputadas de forma manual en el PLM. El usuario, al finalizar una tarea, introducirá en el PLM la cantidad de horas no productivas derivadas de su realización. En el caso de ser necesaria una especificación más precisa, se detallará en el ERP o en el MES. Estas horas también se trasladan al ERP para realizar un control económico de los costes derivados de las tareas productivas.

## 4.3 Maestros de tareas y rutas

Estos dos maestros se tratan de forma conjunta ya que dependen el uno del otro, no tiene sentido definir las tareas a realizar sobre un equipo si no se sabe en qué consiste cada tarea o definir las tareas si no se sabe cuáles intervienen en la fabricación. La información presente en ellos debe llegar al sistema APS para que el sistema realice la planificación de los equipos.

### 4.3.1 Maestro de tareas

En el maestro de tareas, ubicado en el ERP, se deben definir el código de la tarea, su descripción y todos los parámetros específicos necesarios para su realización. Estos parámetros son los siguientes:

- Tiempos de preparación y ejecución.
- Certificaciones necesarias.
- Recursos (máquinas, utillajes, etc.).
- Materiales de entrada y salida.
- Parámetros de los controles de calidad generales.
- Otros requisitos específicos.

### 4.3.2 Maestro de rutas

En este maestro, que se encuentra en el PLM, es dónde se indican las diferentes tareas que se realizan para la fabricación de un equipo y su orden de realización, definiendo así la dependencia entre ellas (predecesoras y sucesoras). Por ejemplo, la tarea de realizar un saneado de la raíz de una soldadura se realiza después de haber realizado la soldadura, por lo que la tarea saneado será la sucesora de la tarea soldadura.

Se realizarán un número determinado de plantillas en función de los diferentes equipos que fabrique la empresa. En estas plantillas se incluirán los detalles mencionados en el párrafo anterior (tareas y orden de realización) de forma que, combinándolas con la información del maestro de tareas, permita al sistema APS realizar la secuenciación de todas las tareas de una orden. Antes de enviar la secuencia de fabricación del equipo al APS, la adaptación de la plantilla al equipo debe ser supervisada y adaptada por un trabajador del área de planificación.



### 4.3.3 Flujo de datos

El maestro de tareas será exportado del ERP al PLM (Figura 66), exportará el código y descripción de todas las tareas para que puedan ser utilizadas en la definición de las plantillas mencionadas en el apartado anterior.



Figura 66: Flujo de datos del maestro de operaciones (elaboración propia).

La importación de la información del maestro de tareas al PLM permite que cada vez llegue al PLM una nueva orden de equipo, se incluyan en ella las tareas concretas para su fabricación, quedando definida así la ruta completa de la orden de ese equipo, a la que posteriormente se añadirá más información convirtiéndola en la ruta real.

Una vez que el PLM disponga de la ruta completa del equipo (Figura 67), le añadirá información y la exportará a los demás sistemas de la siguiente manera: del PLM al ERP, del ERP al MES y del MES al APS (Figura 68). El APS recibirá solo la información que necesite para realizar la planificación.



Figura 67: Flujo de ruta completa (elaboración propia).

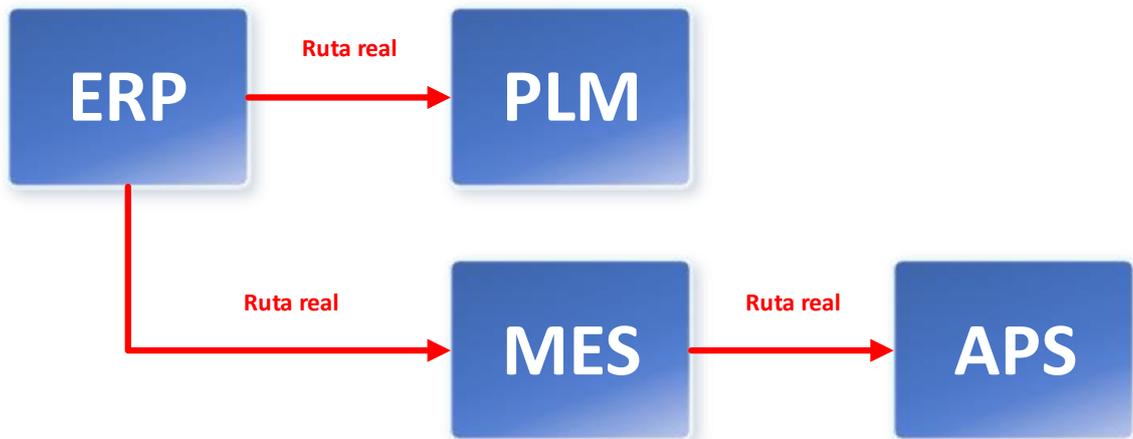


Figura 68: Flujo de datos del maestro de rutas (elaboración propia).

Entrando más en detalle, el flujo de datos y las funciones que realiza cada uno de los sistemas son las siguientes:

- **PLM.** Este sistema recibirá las tareas de equipo del ERP para crear la ruta completa de fabricación. El procedimiento de creación de dicha ruta consiste en la asociación manual en el sistema de las tareas concretas para la fabricación de un equipo con la descripción procedente del ERP.
- **ERP.** Se vinculará la ruta completa de fabricación exportada desde el PLM a la orden de equipo que le corresponda y se le añadirá más información para obtener la ruta real. Esta información está compuesta por los diferentes datos asociados a cada tarea y mencionados en apartados anteriores (materiales, recursos, BOM, etc.) así como información relacionada con el maestro de órdenes que se explicará en el apartado siguiente y se enviará de vuelta al PLM. Además de esta información, para obtener la ruta real deberán quedar definidos para las tareas que sea necesario:
  - La documentación asociada a las tareas que lo requieran (planos específicos de la operación, instrucciones de trabajo específicas, etc.).
  - Los parámetros de los controles de calidad relacionados con dimensiones, que pueden ir desde forma documental a parámetros transaccionales.
- **MES.** Una vez el ERP tenga toda la información del punto anterior podrá notificar al sistema MES la orden con la ruta completa de tareas. La información útil para el sistema contenida en esta ruta real son los datos teóricos de fechas, recursos, materiales, etc.
- **APS.** A su vez, el sistema MES hará llegar la orden al sistema APS, informando solamente de los datos relevantes para este sistema. Dichos datos relevantes son los incluidos en la ruta completa (solo las tareas y sus dependencias entre sí). A partir de esta información, el APS podrá secuenciar las operaciones de cada una de las distintas órdenes de equipo. Esta secuenciación se refiere únicamente a la asignación de los recursos disponibles



a cada tarea, afectando a las fechas únicamente en caso de no tener recursos disponibles, ya que las fechas teóricas serán suministradas por el ERP.

## 4.4 Maestro de órdenes

Este maestro, situado en el ERP, gestionará los diferentes tipos de órdenes que se requieran en el área industrial. Tanto las órdenes implicadas en la fabricación del equipo, todas las que requiera la empresa en un futuro en el área industrial, como las de transporte, calidad, mantenimiento, etc. Las órdenes presentes en este sistema y que tienen implicación directa en los sistemas son las siguientes:

- **Órdenes de equipo.** Se incluirán todas las tareas relacionadas con la fabricación de un equipo, que se obtendrán de la información contenida en el maestro de rutas (apartado 4.3.2) y se particularizarán con la información necesaria.
- **Órdenes de mantenimiento.** Se incluirán todas las órdenes de mantenimiento del equipo (preventivo, predictivo y correctivo). Aunque, es recomendable que se traten inicialmente las órdenes de mantenimiento correctivo y preventivo, y en un futuro incorporar las del predictivo. A pesar de que este maestro está gestionado por el ERP, las órdenes de mantenimiento se generarán, en caso de que se incorpore, en el sistema GMAO. Estas órdenes deberán ser trasladadas a través del MES al ERP, ya que como se ha mencionado en el capítulo anterior el GMAO no tiene conexión directa con el ERP.
- **Órdenes de compra.** Se refiere a los pedidos realizados en la compra de materiales. Partiendo del código definido en el maestro de materiales (apartado 4.1), se puede saber el stock existente de los materiales necesarios para la realización de cada tarea. Dato que necesita el sistema APS para poder secuenciar correctamente las tareas.

### 4.4.1 Flujo de datos

Parte del flujo de datos del maestro de órdenes de equipo ya ha sido explicado en el flujo de tareas y rutas. Cuando el ERP añada información a la ruta completa para formar la ruta real, también es posible añadir información a las órdenes de equipo que no están disponibles en el PLM como números de serie, lotes específicos de materiales, etc. Una vez que se han añadido estos datos, se produce el flujo explicado en el maestro de tareas y rutas (exportación de la ruta real del ERP al MES y al PLM y de la ruta completa del MES al APS). Desde el PLM se registran los avances realizados en las tareas no productivas siguiendo el método descrito en el apartado 4.2.3. Estos avances se vuelven a notificar otra vez al ERP (Figura 69).



Figura 69: Flujo de datos de horas no productivas (elaboración propia).

Una vez que el sistema MES dispone de la información de la orden (fechas teóricas, recursos técnicos y restricciones de materiales) obtenida del ERP, este sistema recopilará el estado real de las tareas y de los recursos en planta. Esta información se enviará al APS para que realice un seguimiento de la planificación y al ERP para que realice diferentes funciones como puede ser la compra de materiales o la información al cliente del estado de fabricación del equipo (Figura 70).

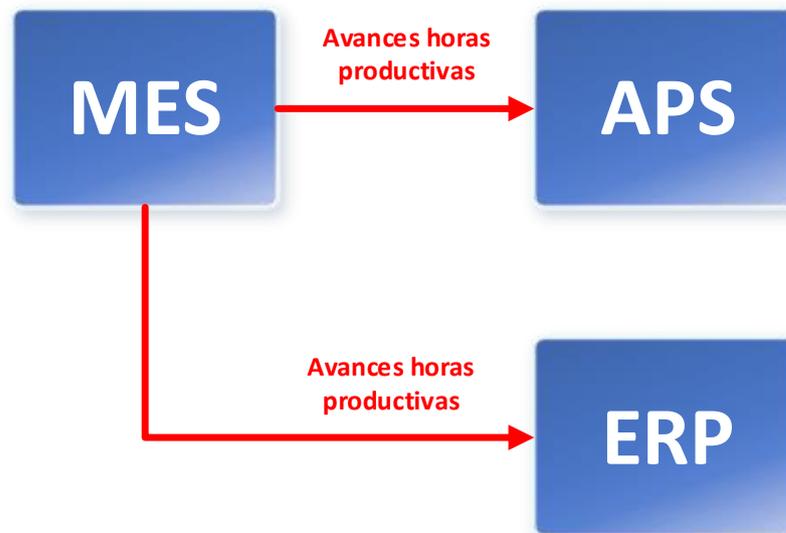


Figura 70: Flujo de datos de horas productivas (elaboración propia).

A partir de los datos procedentes del MES mencionados en el maestro de rutas, el APS realiza la secuenciación de todas las operaciones. La información requerida por el sistema APS para poder secuenciar será la siguiente:

- Orden de equipo con sus tareas.
- Tareas con sus restricciones (usuarios, certificaciones, formaciones, utillajes, etc.)
- Materiales de entrada y salida de las operaciones, así como el material disponible para su utilización.
- Fecha prevista de entrega del equipo.
- Fechas reales de inicio y fin de las órdenes de equipo y tareas.
- Grado de avance de todas las tareas.



Una vez que la secuenciación ha sido aceptada por el responsable de planificación, se devuelven los datos secuenciados al MES, que serán básicamente:

- Fechas secuenciadas.
- Recursos secuenciados.

El sistema MES, a su vez, informará al ERP con los siguientes datos reales obtenidos durante las tareas productivas de la orden de equipo:

- Consumos reales de materiales de cada tarea.
- Tiempos imputados por usuario (horas hombre) y máquina (horas máquina) a cada operación.
- Avance de los trabajos imputados a cada operación.

Estos datos se suelen suministrar en tiempo real al ERP y/o al APS. Por ejemplo, se suele utilizar la comunicación en tiempo real para notificar:

- El consumo de un material del MES al ERP.
- La finalización de una tarea del MES al ERP y al APS.

Los estados a nivel de la orden de equipo podrían ser los que se indican en el diagrama que se encuentra a continuación a título de ejemplo. Este mismo concepto de estado también se podría extrapolar a las tareas.

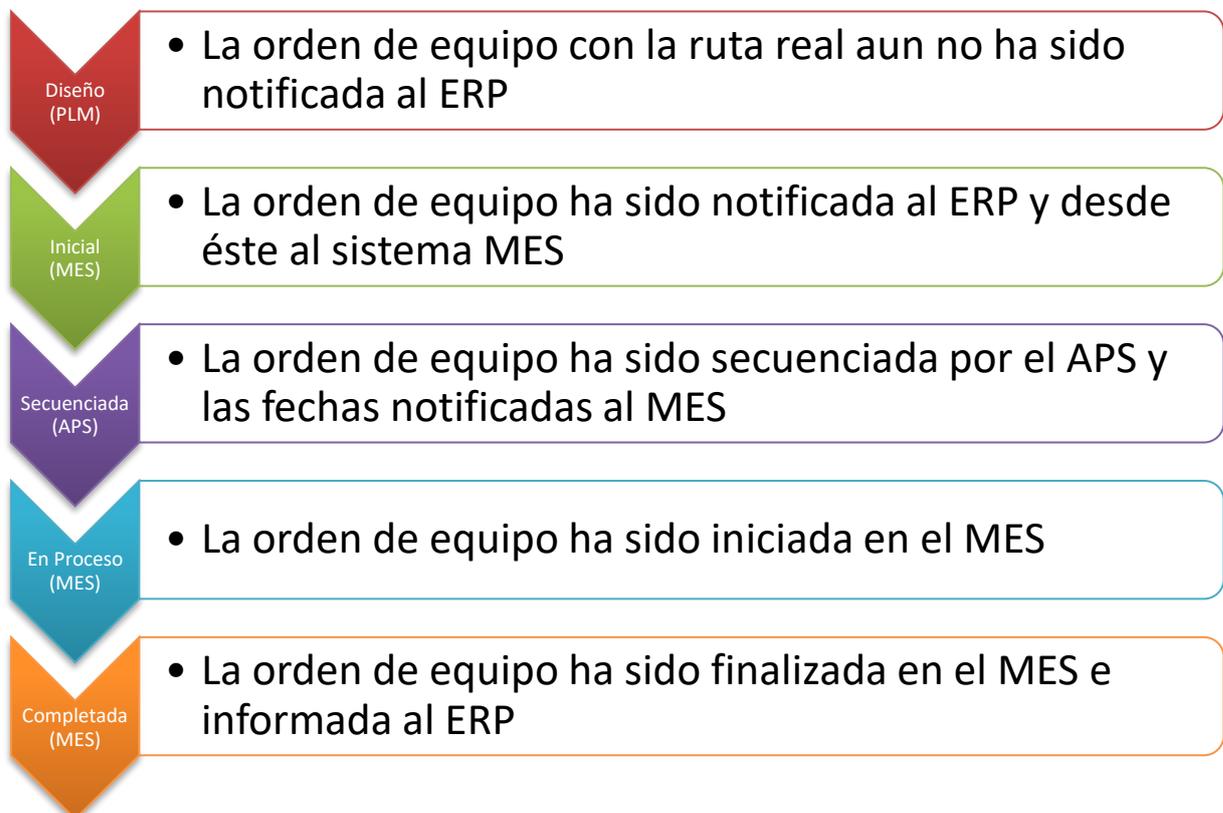


Figura 71: Estados de orden de equipo (elaboración propia).



## 4.5 Maestro de documentación

Este maestro, que residirá en el PLM, actuará como gestor documental de la compañía. En él se irán almacenando los documentos derivados de las tareas realizadas por los operarios. Los documentos almacenados para cada equipo son los siguientes:

- **Cálculos.** Documentos en los que resumen los cálculos necesarios para el diseño de cada una de las piezas que forman el equipo.
- **Planos.** Planos de conjunto e individuales de cada uno de los elementos del equipo, incluyen diversas características de fabricación como pueden ser las soldaduras, los ensayos no destructivos (END), etc.
- **Dossier de calidad.** Documento en donde se recopila toda la información acerca de todas las pruebas realizadas sobre el equipo que demuestren el cumplimiento de los requisitos de calidad.
- **Planes de Puntos de Inspección (PPI's).** En este documento se recopilan todos los procedimientos empleados para la realización de los END.
- **Otros.** Existen muchos más tipos de documentos que son almacenados como pueden ser todos los documentos asociados a las soldaduras, manuales de instalación y funcionamiento, etc.

Es importante que la información generada sea accesible a los usuarios que la necesiten en el momento que la necesiten. Por ejemplo, cuando un empleado va a realizar una tarea de fabricación esta se debe mostrar en una de las pantallas del sistema MES con los suficientes datos como para el operario sea capaz de llevarla a cabo.

## 4.6 Maestros de almacenes y ubicaciones

Al igual que en casos anteriores estos maestros se explican juntos debido a la dependencia mutua entre ellos. Para la realización del movimiento de materiales entre almacenes y plantas se necesita conocer, no solo la ubicación del almacén, sino también la cantidad de stock en el mismo. En caso de no conocer la ubicación el elemento de transporte no sabría que ruta tiene que realizar o podría transportar un material que no es el pedido, y si no sabe la cantidad de stock podría realizar un viaje para un producto que no esté en el almacén.

### 4.6.1 Maestro de almacenes

Se gestionará desde el ERP, la información contenida en este maestro será la de la cantidad de materiales que están en el interior de los distintos almacenes de la empresa, tanto internos como externos. Con esta información se puede realizar un control económico de los niveles de inventario.



## 4.6.2 Maestro de ubicaciones

En este maestro van incluidas las ubicaciones de las diferentes instalaciones de la empresa. Inicialmente, este maestro podría estar ubicado en el sistema ERP debido a la utilización que se va a hacer de él. Sin embargo, estará situado en el sistema MES, ya que permitiría, en un futuro, la realización de una gestión más directa y eficiente de las órdenes de transporte entre las distintas ubicaciones y buffers de la planta.

## 4.6.3 Flujo de datos

Dentro de este flujo de datos se tratarán tanto los materiales presentes en el almacén, desde el lanzamiento de su pedido hasta los movimientos en el taller cuando se vayan a utilizar, como las subcontrataciones.

La diferencia entre una orden de compra y una de subcontratación es que, mientras una orden de compra se tratará como una etapa más en el proceso la subcontratación está asociada a una tarea de la orden que se realiza con recursos externos a la empresa. Esa etapa adicional de compra consiste en la confirmación de que se ha recibido un determinado código de material y se tiene disponible el stock necesario para comenzar la fabricación. Esto puede permitir, en un futuro a medio plazo, que la notificación al sistema MES de las tareas subcontratadas se realice de la misma forma que si hubiera sido realizada internamente.

El flujo de datos del maestro de almacenes comienza con la notificación de las órdenes de compra de material y de subcontratación al sistema MES desde el ERP, notificando todas las líneas de pedido. Cuando se agote algún código de material o cuando las tareas de subcontratación estén en ejecución, será necesario enviar desde el ERP al APS las órdenes de compra de materiales y las de subcontratación para conocer una fecha estimada de finalización.

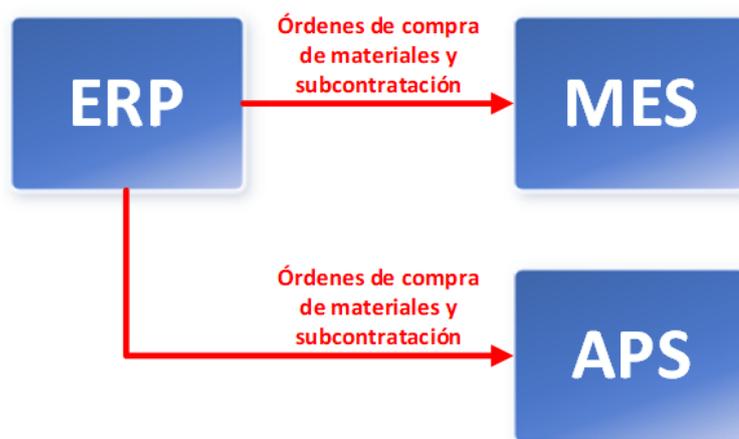


Figura 72: Flujo de datos de órdenes de compra y subcontratación (elaboración propia).

El sistema MES es el responsable de realizar la recepción de los materiales a pie de almacén. Para hacerlo comprueba que el material entregado, la cantidad, calidad y demás



características coincidan con las que se habían pedido. Esto lo hace mediante la comparación del albarán de entrega que viene con el material con los materiales correspondientes a las líneas de pedido de la orden de compra suministrada por el ERP.

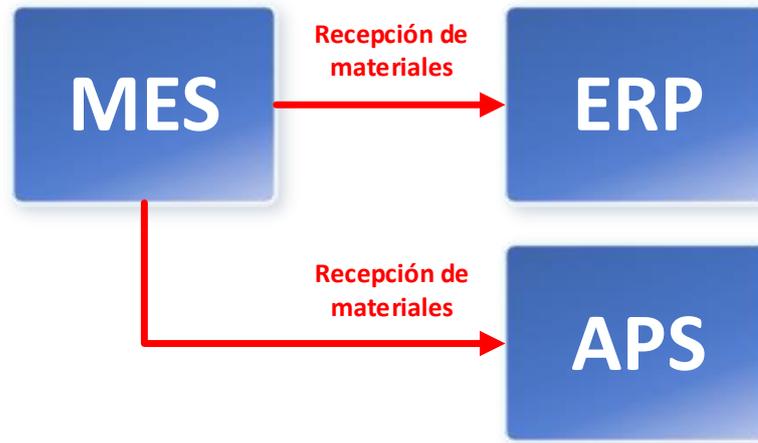


Figura 73: Flujo de datos de recepción de materiales (elaboración propia).

Una vez que los materiales han sido recibidos, serán almacenados en una determinada ubicación que se registrará en el sistema MES. Cuando el MES detecte la aparición de un material en una posición determinada del almacén, notificará al ERP la entrada de dicho material, indicando su tipo y su stock.

La entrada de material también se notificará al APS, a la vez que al ERP, para que este sistema sepa que el material está disponible para su utilización, en caso de una orden de compra, o que se ha finalizado una tarea vinculada a una orden de subcontratación.

Por último, se necesitan gestionar los movimientos de los materiales dentro del taller (entradas y salidas de materiales de los almacenes, movimientos desde los almacenes a las diferentes máquinas, movimientos entre máquinas, etc.). Todas estas tareas estarán controladas por el sistema MES.

## 4.7 Maestro de mantenimiento

En este maestro se deberán configurar todos los planes de mantenimiento de la empresa, estos planes, a su vez, generarán las órdenes de mantenimiento descritas en el maestro de órdenes. Deberá ser gestionado por el sistema ERP o, en su defecto por el sistema GMAO.

Dentro de todos los planes de mantenimiento que genera el GMAO tienen especial relevancia los de mantenimiento preventivo, que generarán las órdenes de dicho mantenimiento y de las que se debe informar al APS para que realice una correcta secuenciación de tareas. En caso de que no se informase al APS de la realización de estas tareas, el programa podría asignar tareas a las máquinas que están en mantenimiento, existiendo un error en la planificación.



## 4.7.1 Flujo de datos

Como se ha comentado en el apartado anterior el GMAO se utilizará para órdenes de mantenimiento preventivo y correctivo inicialmente, para incluir en un futuro las de mantenimiento predictivo.

Para el mantenimiento preventivo se enviarán las órdenes desde el ERP o GMAO al sistema MES. Una vez que llegan al MES, las órdenes de mantenimiento preventivo se exportan al APS con las fechas teóricas de inicio y fin, se envían también las actualizaciones que muestren las fechas reales de inicio y fin de las distintas órdenes de mantenimiento. Una orden de mantenimiento implica un recurso que no se puede usar (máquina averiada, bloqueada por calidad, etc.). Es importante notificar este tipo de órdenes al sistema APS debido a que no puede asignar un recurso en mantenimiento para realizar tareas. Al igual que en las órdenes de equipo, para estas órdenes, el sistema APS envía de vuelta al sistema MES las fechas y los recursos secuenciados.



Figura 74: Flujo de datos de órdenes de mantenimiento preventivo (elaboración propia).

En cuanto al mantenimiento correctivo, es en el sistema MES en donde se detecta la necesidad de mantenimiento correctivo. Desde el MES se enviará al GMAO o al ERP la necesidad de la creación de una orden de mantenimiento correctivo, esta notificación contendrá los datos necesarios para que el ERP o GMAO puedan crear la orden.

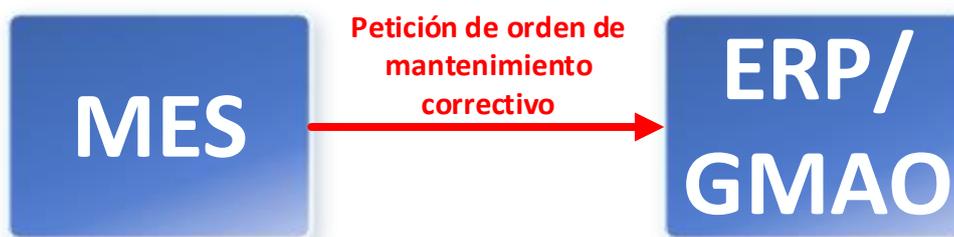


Figura 75: Petición de orden de mantenimiento correctivo (elaboración propia).

Una vez recibida la notificación, se crea la orden de mantenimiento y se envía esta al sistema MES. Como en el caso anterior, se envían las órdenes de mantenimiento correctivo desde el MES al APS indicando el inicio real y el tiempo previsto de resolución según histórico y se actualizan con las fechas reales de fin.



Figura 76: Flujo de datos de órdenes de mantenimiento correctivo (elaboración propia).

## 4.8 Estados de máquinas

Aunque no es un maestro como tal, se va a tratar en este apartado porque tiene conexión con los sistemas operativos y permite realizar funciones relacionadas con ellos. Proporcionará los datos relativos a los estados de las máquinas, como pueden ser averiadas, en mantenimiento, etc.

Esto se realizará mediante una conexión entre los diferentes PLC's de la empresa y los sistemas operativos, una comunicación bidireccional con el MES. Es importante que los diferentes PLC's de la empresa estén comunicados entre ellos mediante el protocolo OPC, explicado anteriormente. A partir de estas comunicaciones se podrán obtener los datos de los estados de máquinas y otros datos de relevancia como temperaturas de soldadura, humedad ambiental, consumos energéticos, etc.

Esta comunicación bidireccional entre PLC's y MES permite realizar el control de las máquinas evitando que sean utilizadas sin tener las capacitaciones necesarias. Por ejemplo: Permite realizar el bloqueo automático de una máquina de soldadura, evitando su utilización en el caso de que un soldador no tenga la homologación necesaria para realizar una determinada tarea.

La comunicación de estos estados con el resto de los sistemas permite la realización de varias gestiones de forma automática, las dos más habituales son las siguientes:

- Petición de una orden de mantenimiento correctivo al GMAO.
- Notificación de un recurso no disponible por un estado determinado, típicamente avería, al APS.



## 5 PLANIFICACIÓN

Como se ha explicado en apartados anteriores, el proceso de digitalización de la empresa IDESA va a consistir en una serie de etapas caracterizadas por la implantación de un sistema operativo. Como mínimo se van a realizar tres etapas: PLM (llevada a cabo actualmente), MES y APS, pudiendo realizarse dos adicionales en caso de que se considere oportuno: GMAO y BI. Cada una de estas etapas se implantará de forma que no se lleven a cabo dos etapas simultáneamente, empezando una nueva etapa una vez finalizada la anterior y dejando un tiempo entre ellas para garantizar el correcto funcionamiento del software implantado en una etapa antes de comenzar con el siguiente.

La planificación que se muestra en la Figura 77 está realizada a partir de las ofertas recibidas, lo que implica que no se puedan añadir los sistemas GMAO y BI. Esto es debido a que, al no haber decidido todavía si se va a realizar su implantación, la empresa no ha pedido ofertas.

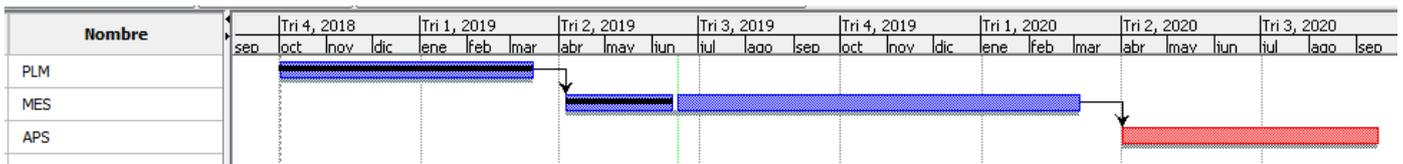


Figura 77: Planificación de la digitalización (elaboración propia).

Como se observa en la figura, a fecha de hoy ya debería haberse finalizado la implantación del PLM y comenzado la del MES. Sin embargo, todavía se está llevando a cabo la instalación y configuración del Solid Edge (primera de las etapas del PLM) por lo que los tiempos de las ofertas no son válidos para el tipo de actividad que desarrolla IDESA. En el caso del PLM, el tiempo teórico de implantación es de 6 meses mientras que el tiempo real se prevé que será de 3 años. Este retraso se debe principalmente a la realización de diferentes equipos para cada orden, por ejemplo, uno de los mayores problemas encontrados ha sido la creación de la biblioteca de piezas para el sistema CAD Solid Edge. La idea inicial era la de crear, además de los elementos comerciales, varios tipos de tubuladuras parametrizadas de tal forma que, al añadirlas en un equipo concreto, fuesen fácilmente editables cambiando un par de cotas. Sin embargo, no se ha encontrado la forma de realizar dicha parametrización por lo que se han tenido que introducir uno a uno todos los distintos tipos de tubuladuras que utiliza la empresa.

Dentro de los 3 años de implantación del PLM, se realizan diferentes tareas que se pueden agrupar en los siguientes puntos (Figura 78):

- **Solid Edge.** Consiste en la instalación del software de CAD 3D en los nuevos ordenadores, comprados para evitar problemas informáticos como espacio insuficiente en la memoria, problemas de compatibilidad con el nuevo software, etc. También forma parte de este apartado la creación de usuarios y la configuración de sus permisos en el software Teamcenter, además de la



creación de la biblioteca mencionada en el párrafo anterior y la configuración de los parámetros que forman la lista de materiales, que serán introducidos en el Teamcenter. Se debe comprobar que al introducir las piezas de la biblioteca, todas las características aparezcan de forma correcta (unidades en sistema internacional para planos en español, imperial para planos en inglés, correcto número de decimales, etc.). Este punto es la tarea que se está realizando a día de hoy, como se puede observar en la Figura 78, está a punto de ser finalizada.

- **Soldadura.** Consiste en la creación de los detalles de soldadura en los planos, además de su configuración para que aparezcan de la forma que quiere la empresa. De este apartado no se pueden dar muchos detalles debido a que todavía no se ha iniciado.
- **Planificación.** Este último apartado consiste en la creación de las tareas realizadas en la producción de cada uno de los equipos que fabrica la empresa. Una vez que han sido creadas, deben mostrarse en pantalla al usuario (en el Teamcenter) para que éste seleccione de entre todas las tareas presentes, las que forman parte del equipo que se está secuenciando. Al igual que en el punto anterior no se puede entrar más en detalle debido a que no se ha empezado la realización de este punto.

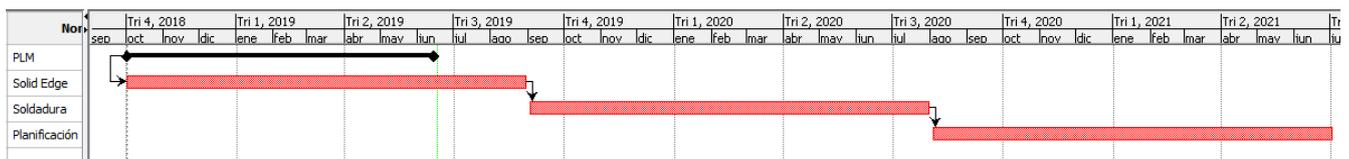


Figura 78: Planificación PLM (elaboración propia).

Además de estos tres puntos (trabajos que han sido o serán realizados por empleados de la empresa) hay otros trabajos que son necesarios para la implantación del PLM que han sido subcontratados a una empresa externa. Ejemplos de estos trabajos son: la formación de los delineantes en el uso del programa Solid Edge, la interconexión (mediante programación informática) del PLM con el ERP propio de la empresa y con el programa de soldadura y todas las funciones de soporte técnico.



## 6 IMPLANTACIÓN

Existen diferencias entre un proceso de digitalización estándar y el que se va a llevar a cabo en IDESA. Esto es debido, principalmente, a que estos procesos están diseñados para empresas que realizan productos seriados mientras que los productos que fabrica esta empresa, aunque parecidos en apariencia, son muy diferentes entre sí en cuanto a su fabricación. Estos cambios hacen que los flujos de datos finalmente utilizados por la empresa varíen de los que se iban a realizar previamente, los explicados en el apartado 4. El proceso de digitalización está siendo llevado a cabo en este momento en la empresa, por lo que no se han estudiado todos los maestros principales. En este capítulo se van a comentar los diferentes cambios que se van a realizar en los maestros que han sido estudiados para adaptar la digitalización a sus necesidades.

### 6.1 Maestro de materiales

Se ha considerado que la mejor opción es la de duplicar este maestro según el tipo de material, manteniendo un maestro de materiales y creando un maestro de materiales intermedios. Esto hace que la información que se va a almacenar en este maestro sea solo la de código y descripción (ambos explicados en el apartado 4.1).

En el maestro de materiales se almacenará solo la información correspondiente a las materias primas, mientras que el maestro de materiales intermedios será el que se encargue de los materiales intermedios. La ubicación del maestro de materiales no sufrirá ningún cambio, estará ubicado en el PLM, mientras que el maestro de materiales intermedios estará en el ERP.

En este apartado, el flujo de datos es totalmente diferente debido a la duplicación del maestro de materiales nombrada anteriormente. El flujo de datos que se va a implementar se describe a continuación:

Se transmitirá la información del maestro de materiales al ERP junto con la lista de materiales (BOM) de forma automática al aprobar un diseño y desde el ERP se enviará solo la información del maestro de materiales al MES (Figura 79).



Figura 79: Flujo de datos real del maestro de materiales (elaboración propia).

El MES registrará el consumo de las materias primas, irá actualizando su estado y enviando las actualizaciones al ERP que será el encargado de realizar las compras en el caso



de que se agoten durante la ejecución de la orden. Como se muestra en la Figura 80, también enviará estas actualizaciones al APS para que mantenga un seguimiento de la planificación.

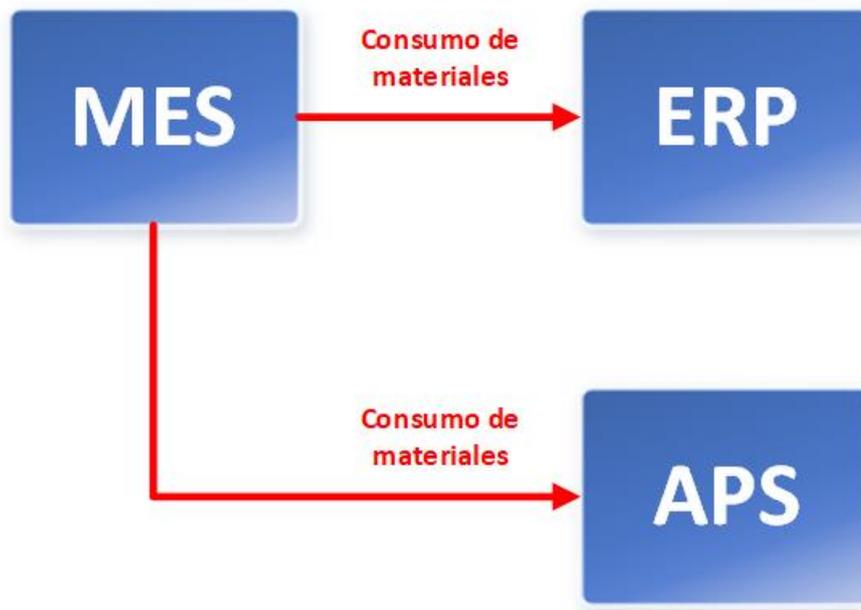


Figura 80: Flujo de datos del consumo de materiales (elaboración propia).

El ERP creará los nuevos materiales intermedios dentro del maestro de materiales intermedios (Figura 81). Para ello necesita la información de las tareas con sus antecesoras y predecesoras, que viene desde el maestro de rutas. Los nuevos materiales intermedios se transmitirán al MES para que registre su consumo y devuelva los avances al ERP.



Figura 81: Flujo de datos del maestro de materiales intermedios (elaboración propia).

Al igual que con el maestro de materiales, el MES enviará las actualizaciones de vuelta al ERP, en donde se realizan las compras de materiales, y al APS para que actualice el estado de la planificación (Figura 82).

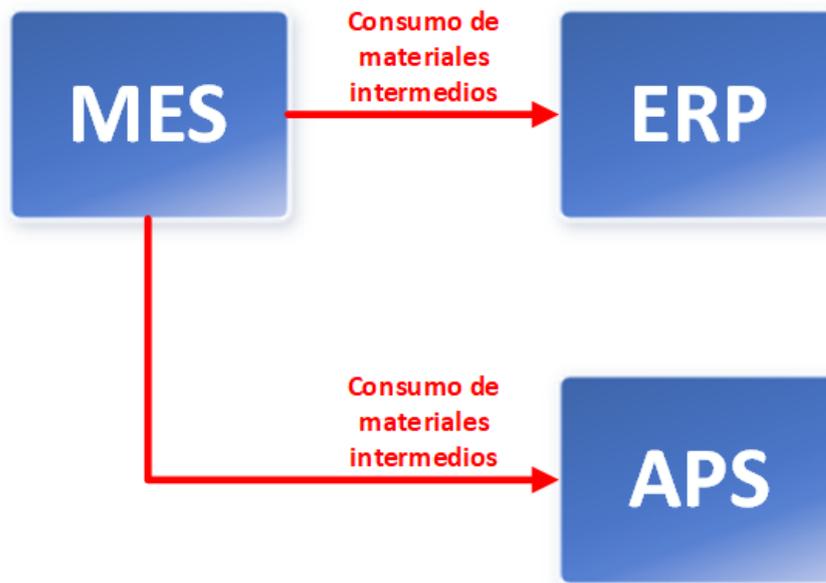


Figura 82: Flujo de datos del consumo de materiales intermedios (elaboración propia).

## 6.2 Maestros de usuarios y recursos

Estos dos maestros sufren también grandes modificaciones que serán explicadas a continuación.

### 6.2.1 Maestro de usuarios

No es necesario la creación de un maestro de usuarios porque ya se encuentran en el sistema ERP actual. Dentro de las funciones que se realizan sobre la información de este maestro, solo interesan una serie de tareas que no se tiene previsto cambiar la forma en la que se realizan como de asignar los roles y permisos dentro del PLM o las funciones realizadas por el ERP como los pagos de las nóminas. En el resto de las tareas del apartado 4.2.1 los usuarios serán tratados como recursos y se gestionarán en el flujo de datos del maestro de recursos.

### 6.2.2 Maestro de recursos

No se realizará el modelo de la planta mencionado en el apartado 4.2.2 debido a que se está cambiando la distribución en planta del taller constantemente. Al realizar equipos muy diferentes, la distribución en planta de máquinas y equipos se adapta al equipo a fabricar. Otro de los cambios es la gestión de los usuarios de la empresa que se iba a realizar en el maestro de usuarios.

Añadiendo estos cambios el flujo queda de la siguiente manera: todos los recursos (usuarios y máquinas), que están definidos en el MES, se envían al sistema ERP, en donde se asociarán los usuarios a las matrices ILU. Esta asociación permite al sistema APS asignar



tareas a cada usuario según sus capacidades y homologaciones. Una vez realizada esta asociación se enviará la información completa a los sistemas APS, ERP y PLM (Figura 83).

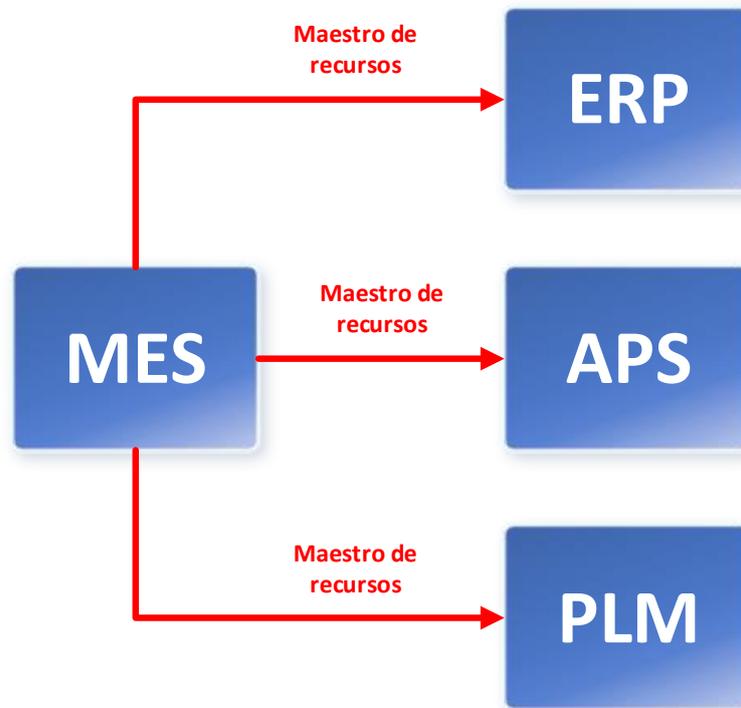


Figura 83: Flujo de datos real del maestro de recursos (elaboración propia).

## 6.3 Maestros de tareas y rutas

Los cambios producidos en estos dos maestros se muestran a continuación:

### 6.3.1 Maestro de tareas

El maestro de tareas se mantiene tal cual está, esto es debido a que las tareas que se realizan sobre los equipos siempre son las mismas, los cambios entre equipos son debidos al número de chapas que lo componen, número de tubuladuras, etc. Se crearán todas las tareas necesarias para la fabricación de un equipo en el ERP y de allí se exportarán al PLM en donde se utilizarán para crear la ruta completa mencionada en otros apartados.

### 6.3.2 Maestro de rutas

Esta ruta se vincula con la orden y se le añadirá información como ya se explicó en el apartado 4.3.2, pero debido a la producción no seriada de la empresa, estas actividades no pueden realizarse de forma automática en el sistema ERP. Por este motivo debe realizarse la asignación de forma manual en el PLM.



El flujo de información quedará de la siguiente forma: El PLM recibirá desde el ERP el código y la descripción de las tareas, en donde el usuario selecciona las tareas presentes en la fabricación del equipo, creando así la ruta de fabricación (Figura 84).

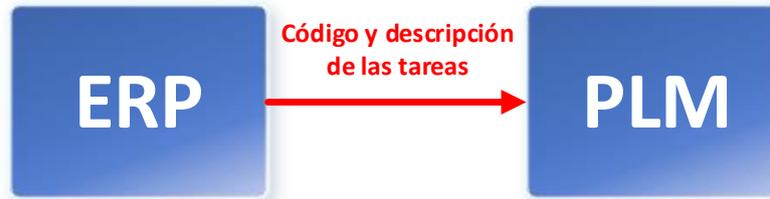


Figura 84: Flujo de datos del código y descripción de las tareas (elaboración propia).

Esta ruta de fabricación será enviada del PLM al APS para realizar su secuenciación (Figura 85), no se envía la ruta real ya que contiene información que el sistema no necesita. Esta ruta secuenciada se utilizará en el maestro de órdenes del siguiente apartado.



Figura 85: Flujo de datos de la ruta de fabricación (elaboración propia).

Se vinculará la ruta de fabricación a la orden de equipo que le corresponda y se le añadirá más información para obtener la ruta real. Después de obtener la ruta real, el PLM la envía al ERP, y al MES (Figura 86). Es en este momento en el ERP crea los materiales intermedios del apartado 6.1. La razón por la que no se envía directamente desde el PLM al MES es porque se le añadirá más información en el ERP relacionada con el maestro de órdenes que se explicará en el siguiente apartado.

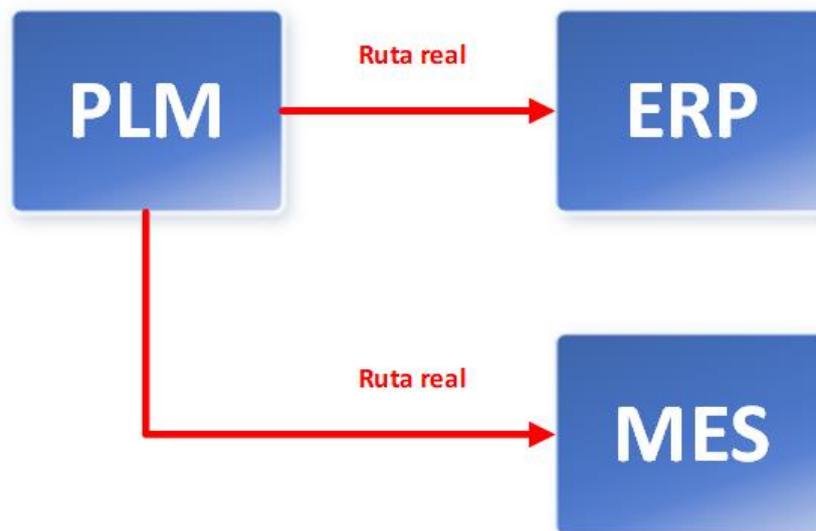


Figura 86: Flujo de datos de la ruta real (elaboración propia).



## 6.4 Maestro de órdenes

El flujo de datos de este maestro se ve afectado por el cambio realizado en el anterior de realizar la adición de información en el PLM en vez de en el ERP, cambiando la ubicación del maestro. El otro cambio presente en este maestro es el de las fechas teóricas, es el APS quien, una vez realizada la secuenciación, tiene que suministrar las fechas teóricas al MES. Esto es debido también a no realizar una producción seriada, en caso de realizarla el tiempo que se tarda en realizar la fabricación de los productos es siempre el mismo por lo que el ERP puede suministrar de forma automática las fechas teóricas.

Aplicando estos cambios, el flujo de datos queda de la siguiente manera: Como se ha mencionado en el apartado anterior, la ruta real creada en el PLM se exporta al ERP en donde se creará la orden, añadiendo a la ruta real las fechas y recursos secuenciados provenientes del APS (Figura 87) además de otros datos como números de serie, lotes específicos de materiales, etc.



Figura 87: Flujo de datos de la ruta de fabricación y recursos secuenciados (elaboración propia).

Como se puede observar en la Figura 88, una vez que se le han añadido estos datos, se envía de vuelta al PLM en donde se realizará el control del tiempo dedicado a tareas de oficina y al MES dedicado a las de taller.

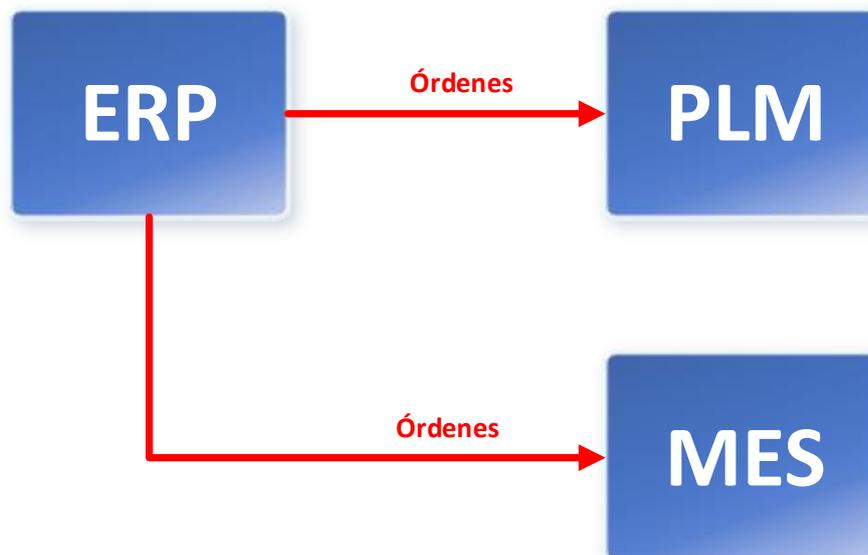


Figura 88: Flujo de datos de las órdenes (elaboración propia).



Ambos sistemas notificarán al ERP los avances que registren en las tareas que gestionan (Figura 89). Una vez que el sistema MES dispone de la información de las fechas teóricas, recursos técnicos y restricciones de materiales obtenida del ERP, recopilará el estado real de las tareas y de los recursos en planta. Esta información se enviará al APS para que realice el seguimiento de la secuenciación realizada previamente y al ERP para que realice diferentes funciones como puede ser la compra de materiales o la información al cliente del estado de fabricación del equipo. El seguimiento de la planificación también se enviará desde el APS al ERP para que distintos usuarios puedan observar el estado de ejecución de la orden.

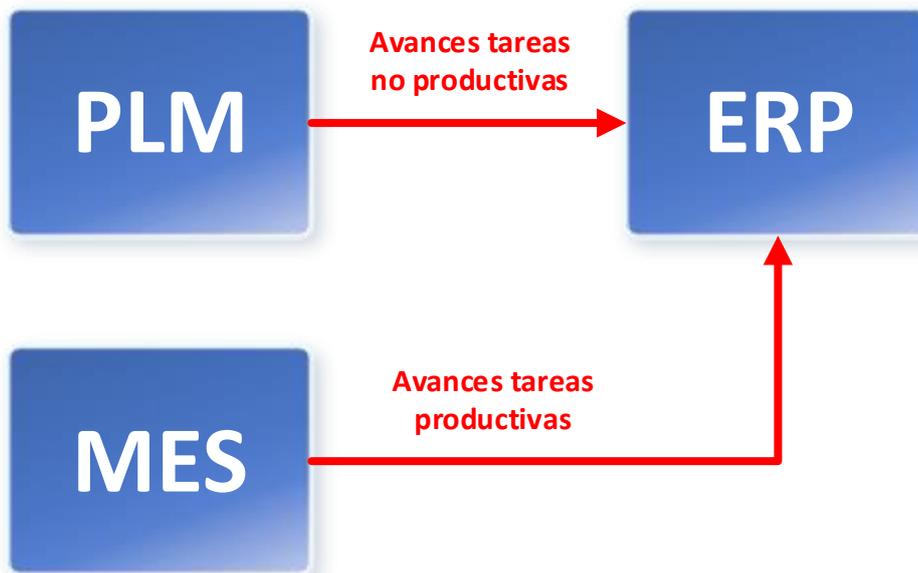


Figura 89: Notificación de avances de las tareas al ERP (elaboración propia).

## 6.5 Maestro de almacenes

La principal diferencia en el maestro de almacenes es la necesidad de realizar la secuenciación en el APS para obtener las fechas límite en las que tienen que entrar los nuevos materiales. Esto se debe a que se realizan la compra de materiales y las subcontrataciones por orden. En caso de la compra de materiales, se calcula el material necesario para cada orden y la fecha en la que debe estar disponible en el taller al realizar el diseño de los equipos que la forman. El método para realizar las subcontrataciones todavía no se ha estudiado.

El flujo de datos del maestro de almacenes comienza con la llegada de la ruta de la orden al sistema APS, en donde se realiza su secuenciación. En el caso de la compra de materiales, se envían las fechas de entrada de materiales obtenidas de la secuenciación del APS al ERP que lanzará los pedidos y obtendrá las fechas teóricas de llegada de material. Estas fechas teóricas se envían al MES (Figura 90), en donde se registrará la entrada de materiales, obteniendo las fechas reales que se enviarán al APS para actualizar la planificación y al ERP (Figura 91).



Figura 90: Flujo de datos de las fechas teóricas de recepción de materiales (elaboración propia).

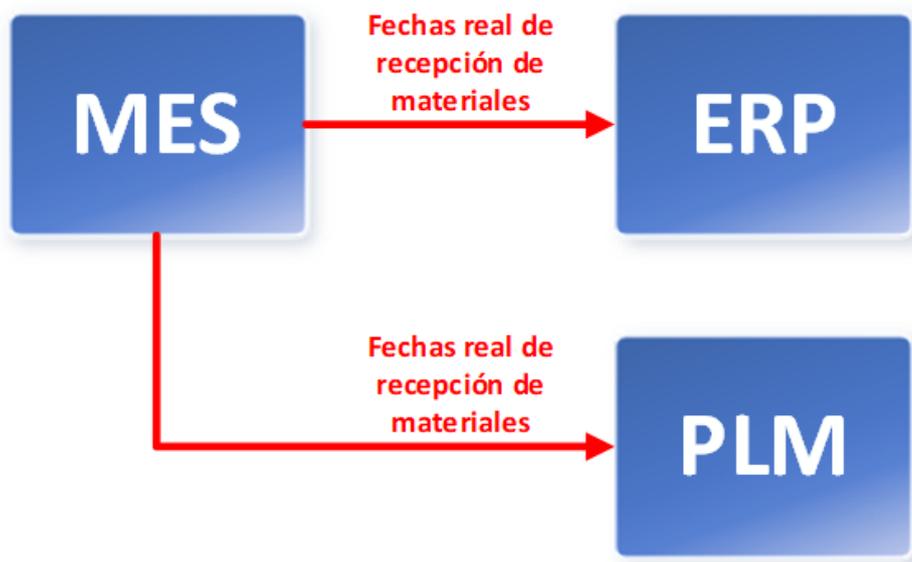


Figura 91: Flujo de datos de las fechas reales de recepción de materiales (elaboración propia).



## 7 PRESUPUESTO DIGITALIZACIÓN

En este apartado se añade un presupuesto en el que se recogen los costes, para la empresa, derivados del proyecto de digitalización. Al igual que en el apartado de planificación, se van a tener en cuenta únicamente los sistemas PLM, MES y APS. A estos sistemas se les añaden los costes derivados de los equipos informáticos y del trabajo realizado por los empleados (únicamente los de la empresa, excluyendo los de las subcontratadas, que consisten en un jefe de departamento y un trabajador a su cargo)<sup>8</sup>.

### Importe por equipamiento informático

Adquisición de Teamcenter y Solid Edge	350.000 €
Adquisición de MES	300.000 €
Adquisición de APS	50.000 €
Adquisición de equipos informáticos	100.000 €

### Importe por mano de obra

Jefe de departamento (1920 h x 60€/h)	115.200 €
Empleado (1920 h x 25€/h)	48.000 €

---

<b>SUBTOTAL</b>	<b>963.200 €</b>
-----------------	------------------

Beneficio Industrial (6%)	57.792 €
IVA (21%)	202.272 €

---

<b>TOTAL</b>	<b>1.223.264 €</b>
--------------	--------------------

<sup>8</sup> Solo se considerarán las horas reales empleadas, es decir, los 8 meses desde el inicio de implantación del PLM.



## 8 PRESUPUESTO TRABAJO FIN DE MÁSTER (TFM)

En este presupuesto se incluyen únicamente los costes derivados de mi trabajo durante mi estancia en la empresa (únicamente el número de horas dedicadas al proyecto).

**Importe por mano de obra**

Empleado (200 h x 12 €/h) 2.400 €

---

**SUBTOTAL 2.400 €**

Beneficio Industrial (6%) 144 €

IVA (21%) 504 €

---

**TOTAL 3.048 €**



## 9 REFERENCIAS

- 1] IDESA, «FCK & Fluid Catalytic Cracking,» [En línea]. Available: <https://www.idesa.net/ref-fck-talara-en.html>. [Último acceso: 2019 Mayo 13].
- 2] IDESA, «Sobre la compañía,» [En línea]. Available: <https://www.idesa.net/idesa-compania-es.html>. [Último acceso: 13 Mayo 2019].
- 3] IDESA, «Coke Drum,» [En línea]. Available: <https://www.idesa.net/ref-coke-drums2-es.html>. [Último acceso: 2019 Mayo 13].
- 4] Grupo Daniel Alonso, «Oficinas de IDESA,» [En línea]. Available: <https://grupo-danielalonso.com/contrato-de-idesa-con-shell/>. [Último acceso: 13 Mayo 2019].
- 5] IDESA, «Talleres de IDESA,» [En línea]. Available: <https://www.idesa.net/idesa-compania-es.html>. [Último acceso: 13 Mayo 2019].
- 6] IDESA, «Líneas de negocio: Fabricación,» [En línea]. Available: <https://www.idesa.net/lineas-negocio-fabricacion-es.html>. [Último acceso: 13 Mayo 2019].
- 7] IDESA, «Reactor,» [En línea]. Available: <https://www.idesa.net/ref-reactor1-es.html#>. [Último acceso: 13 Mayo 2019].
- 8] IDESA, «Fluid Catalytic Craking (FCC),» [En línea]. Available: <https://www.idesa.net/ref-fcc-talara-es.html>. [Último acceso: 13 Mayo 2019].
- 9] IDESA, «Lineas de negocio: Marine Energy,» [En línea]. Available: <https://www.idesa.net/lineas-negocio-marine-energy-es.html>. [Último acceso: 13 Mayo 2019].
- 10] IDESA, «Transition pieces,» [En línea]. Available: <https://www.idesa.net/ref-31-transition-pieces-es.html>. [Último acceso: 13 Mayo 2019].
- 11] IDESA, «Gravity Bases for Umbilicals,» [En línea]. Available: <https://www.idesa.net/ref-gravity-bases-umbilicals-es.html>. [Último acceso: 13 Mayo 2019].



12] IDESA, «Líneas de Negocio: Plantas Industriales,» [En línea]. Available: <https://www.idesa.net/lineas-negocio-idip-es.html>. [Último acceso: 13 Mayo 2019].

13] IDESA, «Instalación de un catalyst cooler,» [En línea]. Available: <https://www.idesa.net/ref-fcc-galp-2018-es.html#>. [Último acceso: 13 Mayo 2019].

14] IDESA, «Construcción modular e instalación de una unidad de vacío,» [En línea]. Available: <https://www.idesa.net/ref-proyecto-vdu-refineria-de-castellon-es.html>. [Último acceso: 13 Mayo 2019].

15] IDESA, «Propane storage drum,» [En línea]. Available: <https://www.idesa.net/ref-905-propane-storage-drum-es.html>. [Último acceso: 13 Mayo 2019].

16] J. Á. Sirgo, *Ingeniería de control: CIM, la pirámide del control en la industria*, Gijón, 2018.

17] J. Á. Sirgo, *Ingeniería de Control: Instrumentación en el control de los procesos y la fabricación. Sensores*, Gijón, 2018.

18] Direct Industry, «Sensor fotoeléctrico de barrera,» [En línea]. Available: <http://www.directindustry.es/prod/delta/product-68641-561968.html>.

19] Toolboom, «Pirómetro,» [En línea]. Available: <https://toolboom.com/es/infrared-thermometer-uni-t-ut301c/>.

20] Aguamarket, «Sensor de presión diferencial,» [En línea]. Available: <https://www.aguamarket.com/productos/productos.asp?producto=17927&nombreproducto=sensor+de+presion+que+aisla+y+protege+los+instrumentos>. [Último acceso: 14 Mayo 2019].

21] Aguamarket, «Sensor de caudal,» [En línea]. Available: <https://www.aguamarket.com/productos/productos.asp?producto=17277&nombreproducto=sensor+de+flujo+electromagnetico>. [Último acceso: 14 Mayo 2019].

22] Mechatronic Store, «Sensor de nivel tipo flotador,» [En línea]. Available: <https://www.mechatronicstore.cl/tienda-de-electronica/sensores-y-control/sensor-de-nivel-de-agua-flotador-zpc5>. [Último acceso: 14 Mayo 2019].

23] AliExpress, «Sensor de PH,» [En línea]. Available: <https://es.aliexpress.com/item/Mini-Waterproof-LCD-CT-6020A-Pen-type-digital->



- Portable-pH-Meter-tester-0to14-PH-FREE-SHIPPING/913795768.html. [Último acceso: 14 Mayo 2019].
- 24] J. Á. Sirgo, *Ingeniería de control: Instrumentación en el control de los procesos y la fabricación. Sensores*, Gijón, 2019.
- 25] Zuendo, «Motor eléctrico trifásico de 5,5 kW,» [En línea]. Available: <https://www.zuendo.com/motores-220380660-v/4449-motor-electrico-trifasico-380v-55-kw-alren-1500-rpm-b3.html>. [Último acceso: 14 Mayo 2019].
- 26] Cb27, «Fuente de tensión,» [En línea]. Available: <http://www.cb27.com/primerospasos/fuentes-alimentacion>. [Último acceso: 14 Mayo 2019].
- 27] Hydrola, «Válvula todo o nada,» [En línea]. Available: <http://www.hydrola.com.mx/lfa50wea-7x-p231619.html?osCsid=611skkhao7jjmj6ptro85v7mc2>. [Último acceso: 14 Mayo 2019].
- 28] Alibaba, «Cilindro hidráulico,» [En línea]. Available: <https://spanish.alibaba.com/product-detail/parker-hydraulic-cylinder-mill-type-50030077746.html>. [Último acceso: 14 Mayo 2019].
- 29] J. Á. Sirgo, *Ingeniería de control: Instrumentación en el control de los procesos y la fabricación. Dispositivos para el control de procesos y de sistemas secuenciales: PID, PLC, microP, DSP, PC, ... (CONTROLADORES)*, Gijón, 2018.
- 30] Schneider Electric, «Catálogo de productos Modicon M340,» [En línea]. Available: <https://www.schneider-electric.es/es/download/document/Catalogo+M340+2009/>. [Último acceso: 13 Mayo 2019].
- 31] J. Á. Sirgo, *Ingeniería de control: OPC-SCADA*, Gijón, 2018.
- 32] Indiamart, «Pantalla SCADA,» [En línea]. Available: <https://www.indiamart.com/proddetail/siemens-scada-system-8775671773.html>. [Último acceso: 14 Mayo 2019].



- Smartsheet, «Product Lifecycle Management,» [En línea]. Available:  
33] <https://www.smartsheet.com/product-life-cycle-management>. [Último acceso: 13 Mayo 2019].
- Cloudinary, «Ciclo de vida de un producto (PLM),» [En línea]. Available:  
34] [https://res.cloudinary.com/engineering-com/image/upload/w\\_640,h\\_640,c\\_limit/6\\_Siemens\\_PLM\\_Teamcenter\\_capabilities\\_eswmmo.jpg](https://res.cloudinary.com/engineering-com/image/upload/w_640,h_640,c_limit/6_Siemens_PLM_Teamcenter_capabilities_eswmmo.jpg). [Último acceso: 14 Mayo 2019].
- Engineering USA, «Interfaz de Teamcenter,» [En línea]. Available:  
35] <https://www.engusa.com/es/product/siemens-teamcenter-manufacturing>. [Último acceso: 14 Mayo 2019].
- a2zp30, «Aplicaciones de Teamcenter,» [En línea]. Available:  
36] <https://a2zp30.com/74091-siemens-plm-teamcenter-12-0-20180710-00-x64-product-life-cycle-management-software-yasdl-185931.html>. [Último acceso: 14 Mayo 2019].
- I. Peñuelas y N. Menéndez, *Diseño y verificación de sistemas mecánicos: Diseño para el ciclo de vida*.  
37]
- The Power MBA, «Ciclo de vida de un producto,» [En línea]. Available:  
38] <https://thepowermba.com/2019/03/04/etapas-del-ciclo-de-vida-de-un-producto/>. [Último acceso: 14 Mayo 2019].
- Research Gate, «Advanced Planning and Scheduling (APS),» [En línea].  
39] Available: [https://www.researchgate.net/publication/272485529\\_Advanced\\_Planning\\_and\\_Scheduling\\_Systems\\_Modeling\\_and\\_Implementation\\_Challenges](https://www.researchgate.net/publication/272485529_Advanced_Planning_and_Scheduling_Systems_Modeling_and_Implementation_Challenges). [Último acceso: 13 Mayo 2019].
- Magyar Elektronika, «Interfaz del Simatic It Preactor APS,» [En línea].  
40] Available: <https://www.magyar-elektronika.hu/10005-tartalom/1940-graphit-siemens-gyartasutemezesi-es-gyartastervezesi-szaknap>. [Último acceso: 14 Mayo 2019].
- SlideShare, «Proceso de fabricación (Simatic It Preactor APS),» [En línea].  
41] Available: [https://www.slideshare.net/Columbus\\_Eesti/paranda-ettevotte-tulemusitarga-tootmise-planeerimise-ja-operatiivjuhtimisega](https://www.slideshare.net/Columbus_Eesti/paranda-ettevotte-tulemusitarga-tootmise-planeerimise-ja-operatiivjuhtimisega). [Último acceso: 14 Mayo 2019].



A. Díaz, *Planificación y control de la producción.*

42]

M. McClellan, «Introduction to manufacturing execution systems,» 6 Junio 2001. [En línea]. Available: <http://cosyninc.com/papers/3.pdf>. [Último acceso: 14 Mayo 2019].

Manufacturing Tomorrow, «Modelo de planta en un sistema MES,» [En línea]. Available: <https://www.manufacturingtomorrow.com/article/2018/01/manufacturing-execution-systems-mes-and-accelerating-your-quality-system's-actionability/10805>. [Último acceso: 14 Mayo 2019].

Engineering USA , «Interfaz del Simatic IT MES,» [En línea]. Available: <https://www.engusa.com/es/product/siemens-simatic-it-mes-suite>. [Último acceso: 14 Mayo 2019].

Fiix, «Computerized Maintenance Management System (CMMS),» [En línea]. Available: <https://www.fiixsoftware.com/cmms/>.

Scuba Engineer, «Funciones e interfaz de CMMS,» [En línea]. Available: <https://www.scubaengineer.com/cmms-computer-maintenance-management-system.htm>. [Último acceso: 14 Mayo 2019].

Blue Smart, «Gestión del Mantenimiento Asistido por Ordenador (GMAO),» [En línea]. Available: <http://blue-smart.es/soluciones/gmao-gestion-del-mantenimiento-industrial/>.

Technology Advice, «Business Intelligence,» [En línea]. Available: <https://technologyadvice.com/business-intelligence/>.

Microsoft, «Características de Power BI,» [En línea]. Available: <https://powerbi.microsoft.com/es-es/features/>. [Último acceso: 14 Mayo 2019].

Red gate, «Interfaz de Power BI,» [En línea]. Available: <https://www.red-gate.com/simple-talk/sql/bi/power-bi-introduction-working-with-power-bi-desktop-part-2/>. [Último acceso: 14 Mayo 2019].

SAS, «Minería de datos,» [En línea]. Available: [https://www.sas.com/es\\_es/insights/analytics/data-mining.html#dmtechnical](https://www.sas.com/es_es/insights/analytics/data-mining.html#dmtechnical).



53] ESAN, «Ventajas Business Intelligence,» [En línea]. Available: <https://www.esan.edu.pe/apuntes-empresariales/2016/05/ventajas-de-la-inteligencia-de-negocios/>.

54] Softwarepara, «Sistema de planificación de recursos empresariales (ERP),» [En línea]. Available: <https://softwarepara.net/que-es-un-erp-significado/>. [Último acceso: 13 Mayo 2019].

55] Beschleunigen Sie Ihre digitale, «Interfaz del ERP de APPLUS+,» [En línea]. Available: <https://www.nupis.de/de/produkte/applus>. [Último acceso: 2019 Mayo 14].

56] Et systems, «Módulos del ERP de APPLUS+,» [En línea]. Available: <https://www.et-systems.de/applus/module>. [Último acceso: 14 Mayo 2019].

57] Softwarepara, «Módulos básicos de un ERP,» [En línea]. Available: <https://softwarepara.net/modulos-erp/>. [Último acceso: 13 Mayo 2019].

58] J. Á. Sirgo, *Ingeniería de control: Comunicaciones Industriales*, Gijón, 2018.

59] Info PLC, «Conexión entre elementos de campo y equipo de control,» [En línea]. Available: [http://www.infopl.net/files/documentacion/comunicaciones/infoPLC\\_net\\_introduccion-a-las-redes-de-comunicacion-industrial.pdf](http://www.infopl.net/files/documentacion/comunicaciones/infoPLC_net_introduccion-a-las-redes-de-comunicacion-industrial.pdf). [Último acceso: 14 Mayo 2019].



# ANEXOS

Para comprender la descripción de las redes de comunicación entre los diferentes elementos del sistema es necesario realizar una breve descripción de una serie de conceptos que van a aparecer durante la explicación de dichas redes.

## Anexo I: Arquitectura de Red

Arquitectura de la red es el conjunto de capas y protocolos que forma el sistema de comunicaciones (Figura 1) [58]. Las capas o niveles son cada una de las divisiones en las que se fragmentan las comunicaciones, cada capa añade nuevas características a los servicios realizados por la capa anterior. Los protocolos son el conjunto de reglas que se utilizan en el intercambio de información entre distintas entidades dentro de la misma capa.

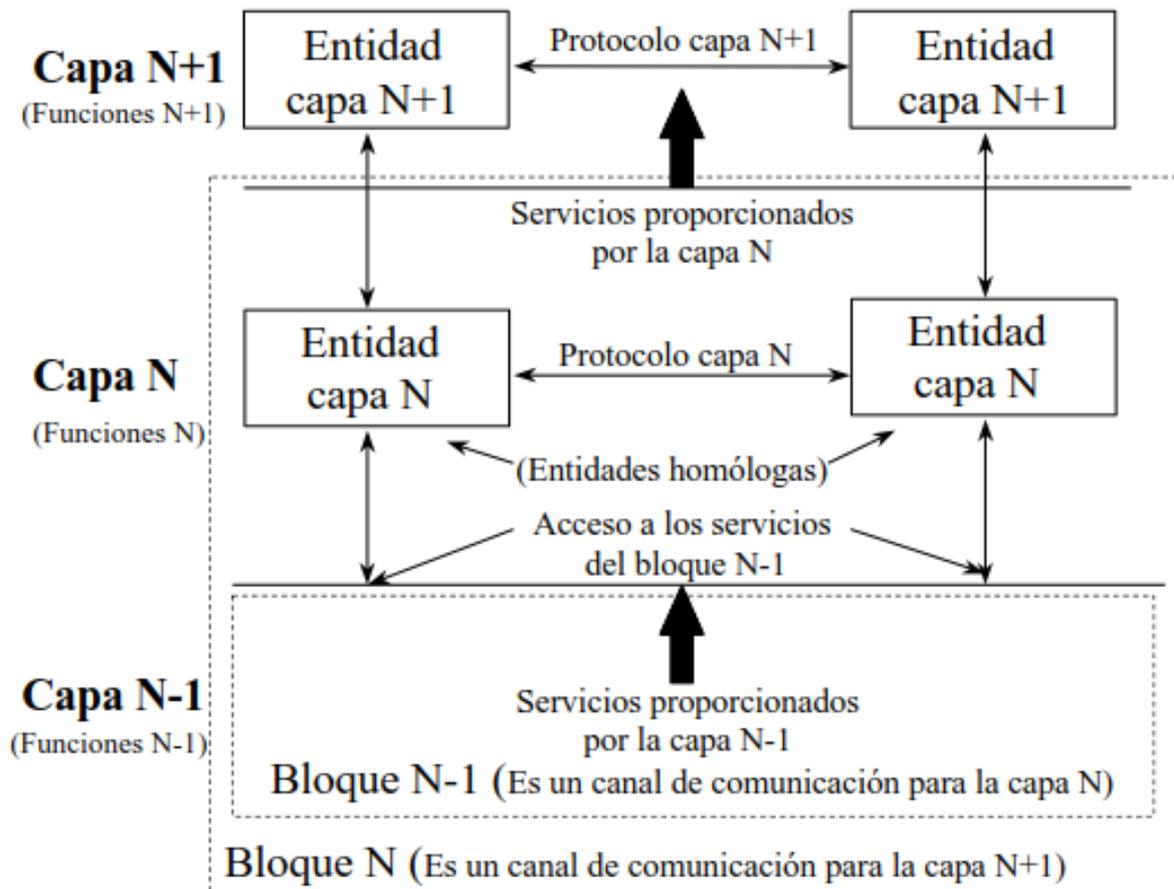


Figura 1: Arquitectura de red [58].

Uno de los protocolos que se pueden utilizar es el cliente/servidor. Consiste en el envío de una petición de información desde el cliente que es respondida por el servidor (Figura 2).

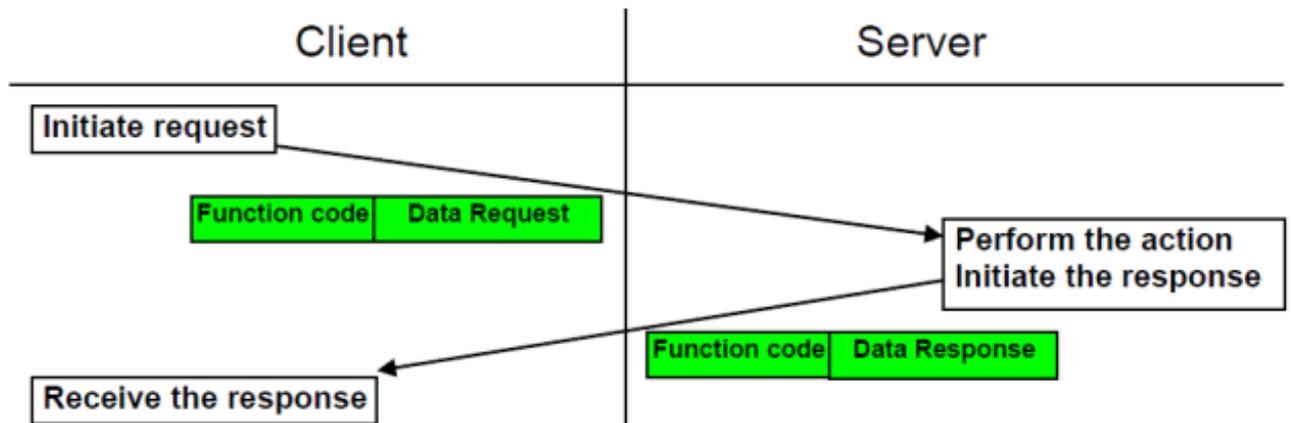


Figura 2: Protocolo cliente/servidor [58].

### Modelo Open Systems Interconnection (OSI)

Con el fin de estandarizar las arquitecturas de la red se creó el modelo de referencia OSI que permite interconectar sistemas abiertos y ofrece al usuario la posibilidad de garantizar la interoperatividad de productos de distintos fabricantes o programadores entre sí. Este sistema está formado por siete capas (Figura 3):

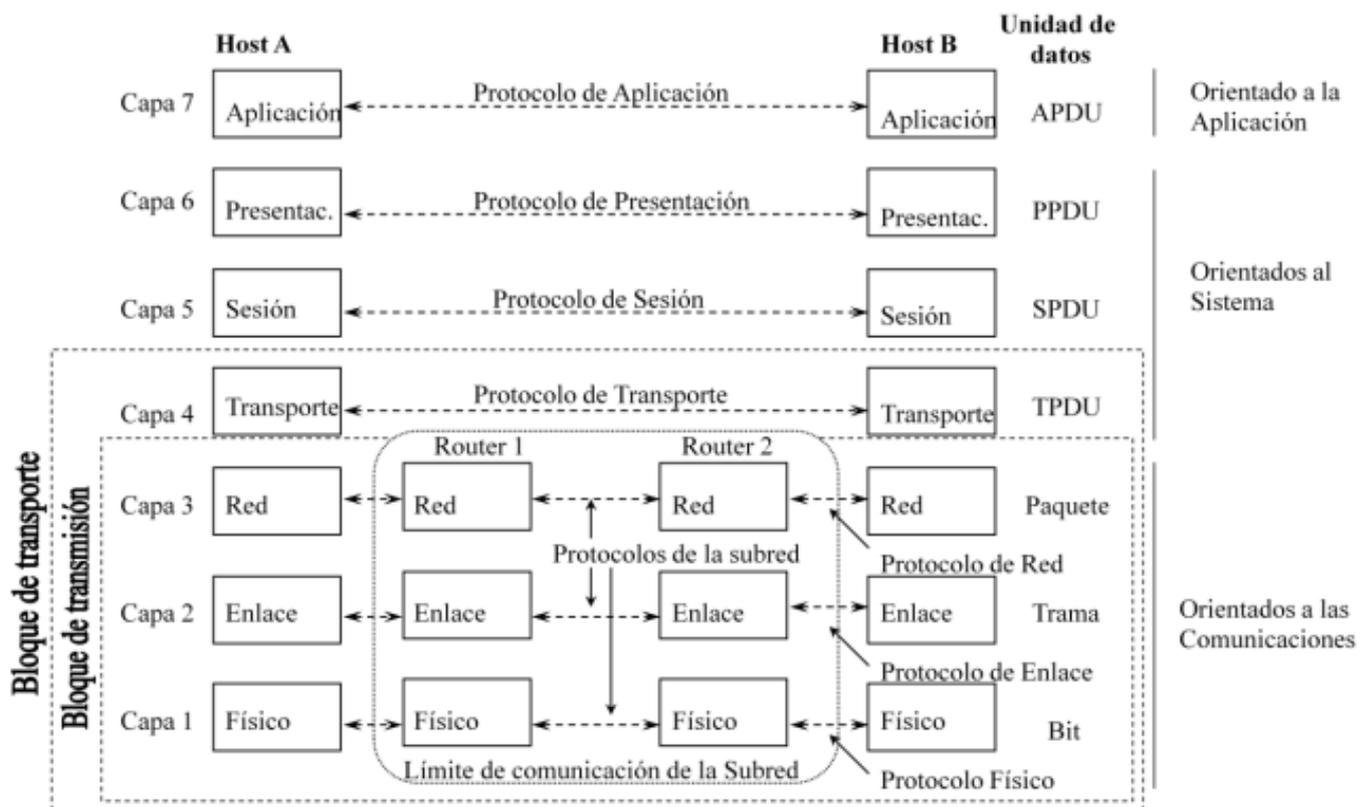


Figura 3: Modelo de referencia OSI [58].



- **Capa Física.** Esta capa se encarga de asegurar el envío de bits a través del medio, evitando que cambien de valor durante el envío. Define las condiciones necesarias (tensión, corriente, frecuencia, etc.) para realizar la comunicación sobre un medio de transmisión cableado o aéreo.
- **Capa de Enlace.** Se encarga de detectar y corregir los errores que se puedan producir durante la transmisión de la información. En esta capa se incluyen los mecanismos de control del flujo de datos, que evitan que un emisor envíe a un receptor más información de la que es capaz de procesar. También se incluye el método de acceso al medio y el direccionamiento de las estaciones.
- **Capa de Red.** Conecta y encamina los datos que viajan a través de distintas subredes, además de detectar y evitar problemas de congestiones en la red.
- **Capa de Transporte.** Garantiza la seguridad en el transporte y la coherencia de la información transmitida. Esto se realiza mediante operaciones como: coordinación del control del flujo, segmentación en bloques y confirmación del envío correcto de la información.
- **Capa de Sesión.** Esta capa realiza el control de la comunicación, entendiéndose como tal su sincronización y el uso que cada usuario hace de la red.
- **Capa de Presentación.** Se encarga de la sintaxis y semántica de la información, además también puede realizar su encriptación a un lenguaje común para todos los elementos de la red.
- **Capa de Aplicación.** En esta capa se incluyen todas las aplicaciones o interfaces con las que el usuario puede acceder directamente al sistema de comunicación.

En la Tabla 1 se resumen de todas las capas presentes en modelo OSI, con su función y características.

Tabla 1: Características de las capas de comunicación según el modelo OSI (elaboración propia).

Nivel	Designación	Función	Características
7	Capa de aplicación	Funciones de aplicación	Leer/Escribir – Recibir/Enviar Transferencia de archivos
6	Capa de presentación	Representación de datos	Lenguaje común
5	Capa de sesión	Sincronización Control de comunicación	Coordinación de la comunicación (inicio, fin)
4	Capa de transporte	Establecimiento/terminación de conexiones Confirmaciones Segmentación	Transmisión asegurada de información



3	Capa de red	Encaminamiento hacia otras subredes	Interconexiones entre distintas subredes
2	Capa de enlace	Método de acceso Estructuración de los mensajes en tramas	Comprobación CRC (errores) Control de acceso al medio de transmisión
1	Capa física	Soporte físico de transmisión	Señales que codifican la información Medio de transmisión (cable, aéreo)

### Modelo TCP/IP

A pesar de ser un estándar internacional, el modelo OSI ha tenido una implantación mucho menor que el modelo TCP/IP, actual estándar debido a su gran utilización. El nombre TCP/IP se debe a los protocolos de comunicación (TCP en las capas de transporte y sesión del modelo OSI e IP en la capa de red). Este modelo está formado por cuatro capas en lugar de las siete del OSI. En la Figura 4 se puede observar la arquitectura del modelo TCP/IP.

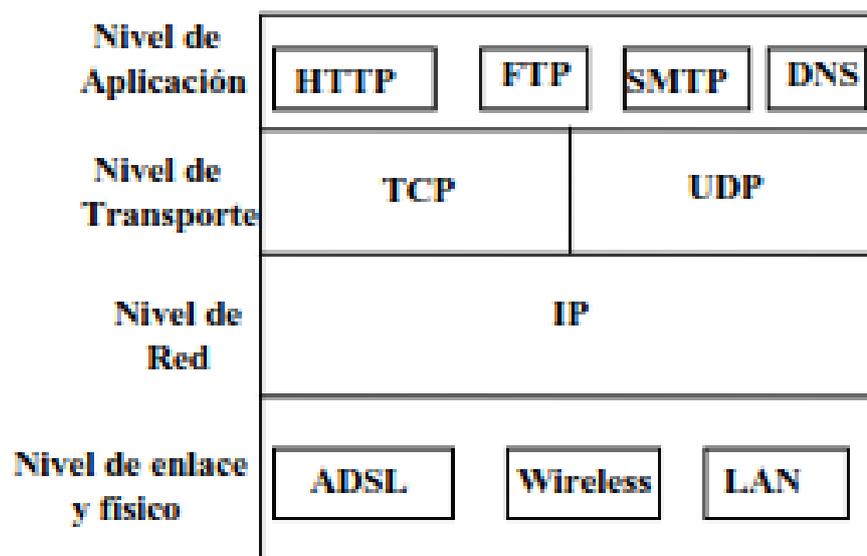


Figura 4: Modelo TCP/IP [58].

Las capas presentes en este sistema son las siguientes:

- **Capa de enlace y física.** Realiza las funciones de las capas física y de enlace del modelo OSI, para la parte física suelen utilizarse dispositivos electrónicos que transmitan señales eléctricas o electromagnéticas. En cuanto al software, se realiza la programación de una serie de chips conectados a la CPU del equipo.
- **Capa de Red.** Es la misma capa que en el modelo OSI, el protocolo principal de esta capa es el IP (Internet Protocol). También se utilizan otros protocolos que permiten la identificación de las estaciones de la red (ARP, RARP) y el control del tráfico de datos (ICMP, RIP, etc.). Como ya se ha comentado en el modelo OSI, esta capa es la que controla el envío de información a través de las redes, permitiendo insertar



paquetes en cualquier red para que viajen a través de ellas. Esta capa garantiza la llegada de los paquetes a la estación receptora pero no su orden, por lo que pueden llegar en distinto orden al que se enviaron. La otra función de esta capa es la evitar atascos, aunque los mecanismos de control de este modelo para el control de congestiones son limitados.

- **Capa de Transporte.** Esta capa realiza las funciones de las capas de transporte y de sesión del modelo OSI. Permite la comunicación entre estaciones de extremo a extremo, pudiendo enviar información entre equipos sin importar la distancia física entre ellos. Utiliza dos protocolos: el TCP que da nombre al modelo y el UDP.
  - **Protocolo TCP (Transmission Control Protocol).** Es el encargado de controlar el flujo y de que la información se envíe de forma coherente. Este sistema se encarga de complementar la función de envío de paquetes de la capa anterior para que la información llegue organizada y libre de errores.
  - **Protocolo UDP (User Datagram Protocol).** Es un protocolo basado en datagramas que no garantiza la llegada de la información a su destino. Está diseñado para aplicaciones que necesitan comunicaciones rápidas en las cuales no es realmente importante la pérdida de algunos de los paquetes que componen la información.
- **Capa de Aplicación.** Realiza las funciones de las capas de presentación y aplicación del modelo OSI. Contiene todos los protocolos de alto nivel como: TELNET (terminal remoto), FTP (transferencia de ficheros), SMTP (correo electrónico), HTTP (Web), etc.

En la Figura 5 se puede ver el modelo TCP/IP aplicado a las capas del modelo OSI.

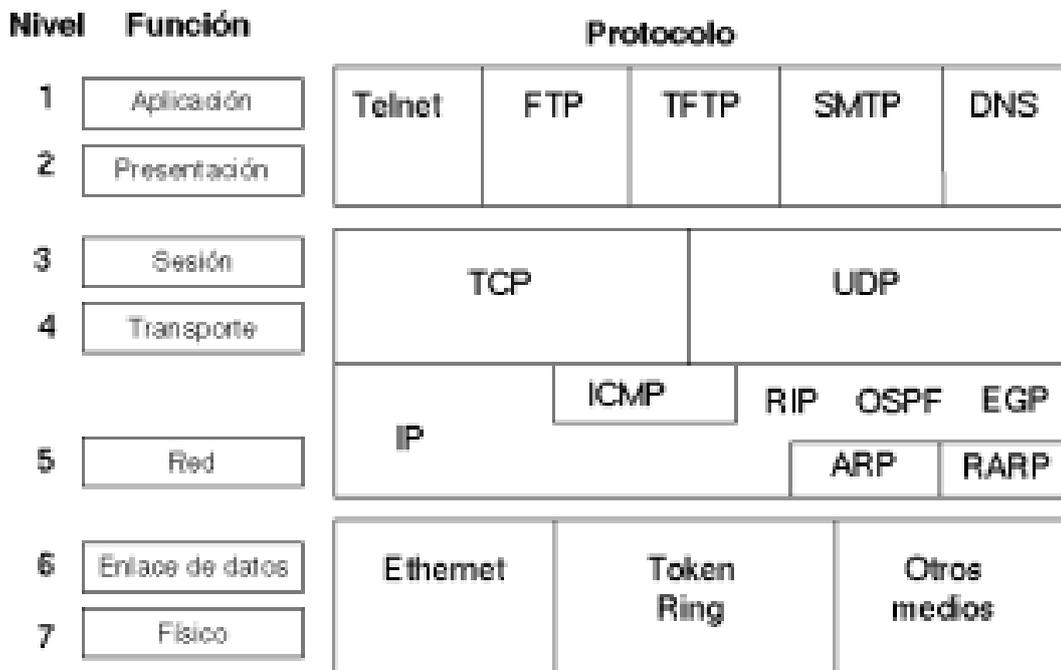


Figura 5: Modelo TCP/IP en comparación con el modelo OSI [58].



## Anexo II: Control de acceso al medio

Es el procedimiento por el cual los diferentes equipos acceden al medio para realizar el envío de una información [58], es especialmente necesaria la definición de este procedimiento cuando varias estaciones envían sus paquetes a través de un medio común. Esto es debido a la aparición de colisiones, se producen cuando una estación envía información cuando el medio ya está ocupado con los paquetes enviados por otra, ocasionando un error en el envío y pérdida de la información. Estos procedimientos se pueden agrupar en dos grupos según permitan eliminar las colisiones (métodos sin colisión) o disminuir la probabilidad de que se produzcan (métodos con colisión).

En este anexo se van a explicar el método maestro-esclavo que utilizan algunos buses de campo y el método CSMA/CD utilizado en Ethernet.

### Maestro-Esclavo

Es un método sin colisión, consiste en la creación de una jerarquía entre una estación principal, el maestro que controla todas las comunicaciones, y el resto, esclavos. Consiste en un proceso cíclico en el que el maestro envía a cada uno de los esclavos, por turnos, una solicitud de envío de información que es respondida por cada uno de ellos. Estos esclavos, por su parte, solo envían datos cuando reciben la notificación del maestro. El maestro no consultará a los esclavos inactivos y considerará como tal, para siguientes ciclos, a los que tarden más de un determinado tiempo en contestar. Al final de cada ciclo el maestro envía un mensaje para que los esclavos considerados como inactivos se puedan incorporar al ciclo. En la Figura 6 se puede observar un ejemplo del protocolo maestro-esclavo implementado en un bus de campo.

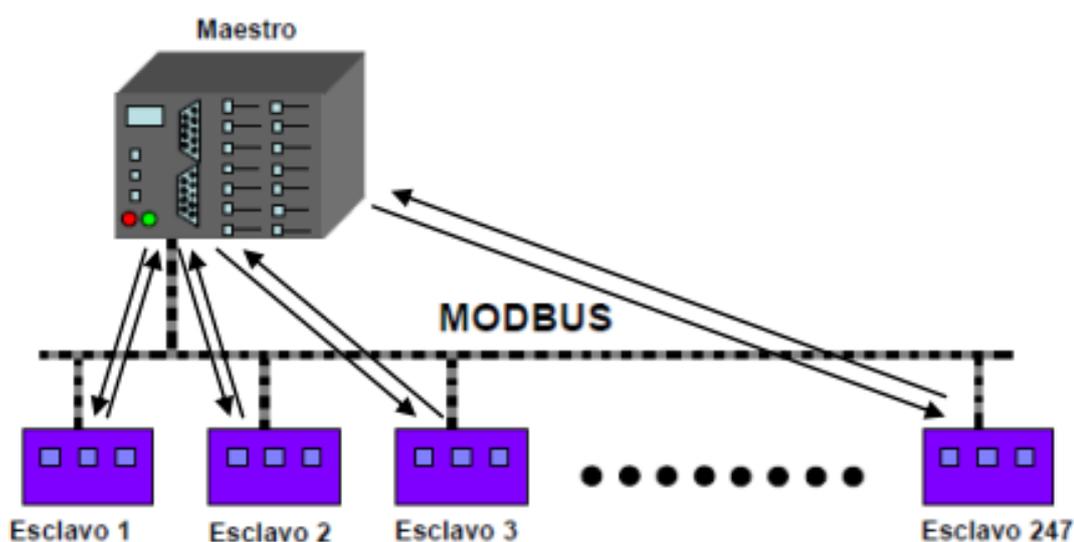


Figura 6: Método Maestro-Esclavo [58].



## CSMA/CD

Carrier Sense Multiple Access (CSMA) es un método de acceso al medio con colisión que permite realizar la detección de portadora<sup>1</sup>. Permite a una estación escuchar el medio sobre el que quiere transmitir y, en caso de que este libre realizar el envío de información. A pesar de esto, el método no consigue eliminar las colisiones debido a que puede suceder que dos estaciones escuchen el medio en el mismo momento, encontrándolo libre y realizando una transmisión de información simultánea, lo que produce la colisión.

Si el canal está ocupado se vuelve a intentar transmitir un tiempo después, para determinar cuándo se realiza esta acción existen tres algoritmos:

- **No persistente.** El tiempo transcurrido para volver a escuchar el canal es aleatorio y suele ser diferente entre estaciones por lo que evita la colisión, aunque se pierde tiempo al final de cada transmisión. En la Figura 7 se puede ver una representación gráfica del algoritmo.

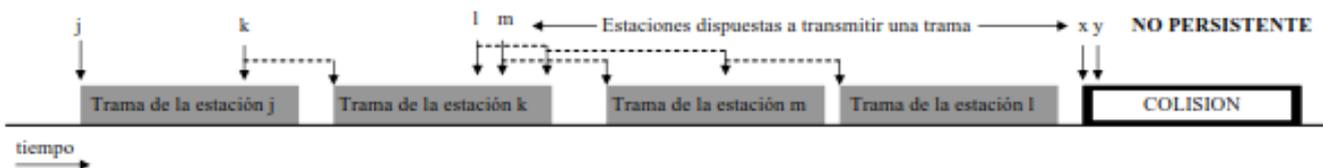


Figura 7: Algoritmo no persistente para CSMA [58].

- **1-Persistente.** En este algoritmo se prolonga en tiempo en el que las estaciones escuchan al medio, empezando a transmitir justo cuando la estación anterior haya finalizado. Así se evitan las pérdidas de tiempo al final de cada transmisión del algoritmo anterior, pero se pueden producir colisiones si dos estaciones están esperando a realizar una transmisión. En la Figura 8 se puede ver una representación gráfica del algoritmo.

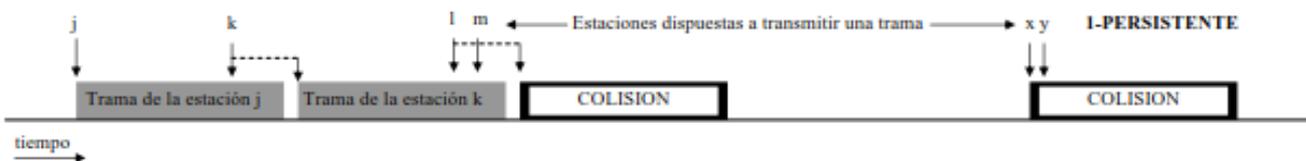


Figura 8: Algoritmo 1-Persistente para CSMA [58].

- **p-Persistente.** Al igual que el algoritmo anterior cada estación escucha hasta que el canal queda libre, una vez que lo esté existe una probabilidad  $p$  de que una estación transmita su mensaje y  $1-p$  de que espere un tiempo fijo, escuche otra vez el medio y transmita si está libre. Si ya se está transmitiendo, escucha hasta que el medio quede libre y repite el proceso. En la Figura 9 se puede ver una representación gráfica del algoritmo.

<sup>1</sup> Véase Anexo IV: Modulación de señales

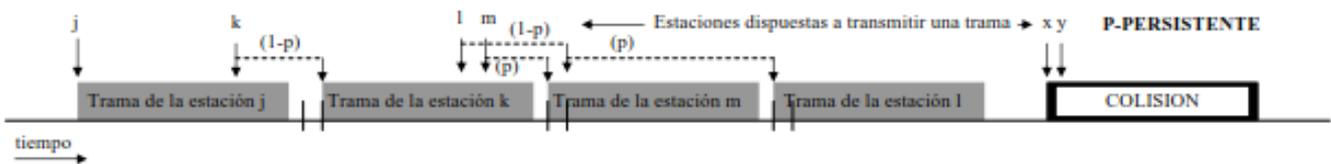


Figura 9: Algoritmo p-Persistente para CSMA [58].

El procedimiento Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection (CSMA/CD) está basado en el CSMA 1-Persistente, añadiéndole una nueva característica, la detección de colisión. Esta función se realiza mediante la comparación, realizada por la estación emisora, del mensaje original con el transmitido por el medio. Si ambos mensajes son diferentes el sistema detecta una colisión, deja de transmitir y emite una señal de atasco (jamming) para que las demás estaciones dejen de transmitir también. El tiempo que han de esperar cada una de las estaciones se define en ranuras discretas llamadas ventanas de colisión cuya duración es el tiempo máximo en el que se puede producir una colisión (dos veces el tiempo máximo de propagación de la señal a lo largo de todo el bus más el tiempo que dura la señal de jamming).

Cuando se produzca una colisión, cada una de las estaciones elige de forma aleatoria esperar 0 o 1 ventanas de colisión antes de intentar de nuevo la transmisión, si dos estaciones esperan las mismas ventanas se producirá una nueva colisión y se repetirá el proceso, pero con mayor número de ventanas, entre 0 y  $2i-1$  siendo  $i$  el número de la colisión.



## Anexo III: Medios de transmisión

Son los medios físicos sobre los que circula la información entre estaciones, actualmente existen dos tipos de medios de transmisión: aérea y cableada [58]. En este anexo se van a tratar las transmisiones cableadas desde un punto de vista de su fabricación y las características que ofrecen. Existen tres tipos de cables utilizados en las transmisiones cableadas: par trenzado, cable coaxial y fibra óptica.

### Par trenzado

Es un cable compuesto por dos hilos de cobre que se trenzan para reducir interferencias externas o internas. Estas interferencias son producidas por el resto de los pares de hilos presentes en el mismo cable, principalmente inductivas debidas a campos magnéticos que son más importantes cuando mayores sean las distancias que recorren. También se recubren de una malla protectora conectada a tierra para eliminar las interferencias externas producidas por campos eléctricos. En la Figura 10 se muestra una imagen de este tipo de cable.

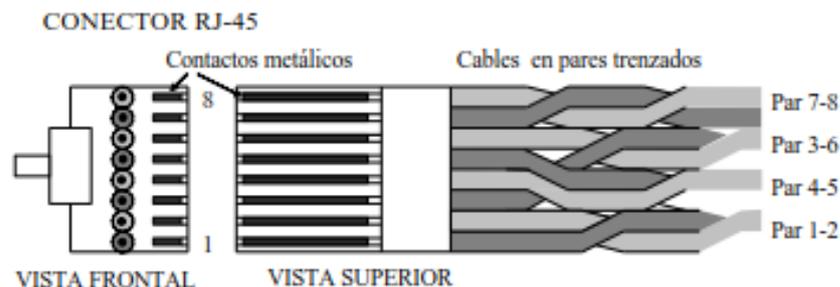


Figura 10: Cable de par trenzado [58].

Se puede utilizar tanto para enviar datos analógicos como digitales mediante señales eléctricas, su ancho de banda depende del trenzado del cable y de la distancia que recorre. Es normal obtener velocidades de transmisión de varios Mbits por segundo en distancias cortas. Están ampliamente difundidos debido a su buen comportamiento y bajo coste.

### Cable coaxial

Está formado por un hilo de cobre recubierto por un material aislante, que a su vez está rodeado por una malla. Todo esto recubierto por una protección de plástico (Figura 11).

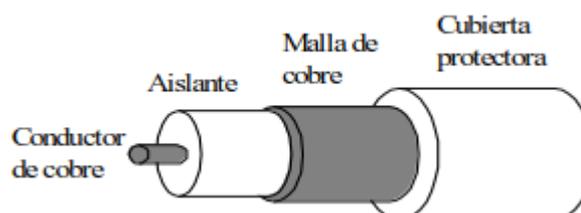


Figura 11: Cable coaxial [58].



Al igual que el par trenzado, este medio también puede ser utilizado para transmitir datos digitales mediante un cable de banda base (con una resistencia de  $50 \Omega$ ) y analógicos mediante un cable de banda ancha (resistencia de  $75 \Omega$ ).

Este tipo de medio proporciona un gran ancho de banda con alta inmunidad al ruido. En cuanto a la velocidad, el cable de banda base alcanza hasta 10 Mbps mientras que el de banda ancha alcanza hasta 150 Mbps.

## Fibra óptica

A diferencia de los dos medios anteriores, este cable realiza el envío de información mediante pulsos de luz u ondas luminosas moduladas. Si el receptor detecta un pulso de luz en una determinada posición se marca el bit asociado a esa posición con un valor de 1 y con un valor de 0 en caso de ausencia de pulso de luz.

Está formado por un núcleo transparente recubierto de una cubierta también transparente, pero con distinto índice de refracción. Ambos recubiertos con una cubierta opaca (Figura 12). El método de transmitir la información se basa en la refracción de la luz, emitiendo los pulsos de luz por encima de un ángulo crítico de forma que se evite la salida de los pulsos del núcleo y permitiendo su propagación en distancias largas (kilómetros) prácticamente sin pérdidas.

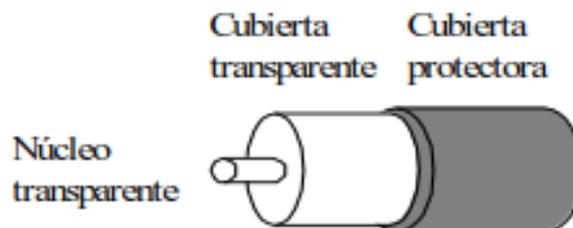


Figura 12: Cable de fibra óptica [58].

Los cables de fibra óptica proporcionan un ancho de banda muy elevado, depende de la frecuencia de la luz (108 MHz) con inmunidad a interferencias electromagnéticas. Permiten obtener velocidades de transmisión de datos mucho más altas que las de los otros cables (100 Tbit/s sobre fibras de más de 100 km de longitud).



## Anexo IV: Modulación de señales

La modulación es un proceso basado en la modificación de una señal (portadora) para que transmita la información contenida en otra señal, normalmente de menor frecuencia [58]. Una vez que la información llega a su destino se obtiene la información a partir de la portadora mediante la demodulación. Existen dos tipos de portadoras: portadora analógica y portadora digital. En este anexo se va a explicar la portadora digital que es la que se utiliza en Ethernet.

### Modulación con portadora digital

Este método se utiliza para el envío de información en banda base, para ello se codifican los datos en una señal digital cuya forma de onda depende del esquema de codificación utilizado. El esquema utilizado determinará, entre otras características, el coste y la complejidad del sistema, la capacidad para detectar errores y la inmunidad al ruido e interferencias.

Los diferentes esquemas de codificación que se pueden emplear (NRZ, NRZ-L, NRZI, RZ, Bipolar-AMI, Pseudoternario, Manchester, Manchester diferencial) se muestran en la Figura 13:

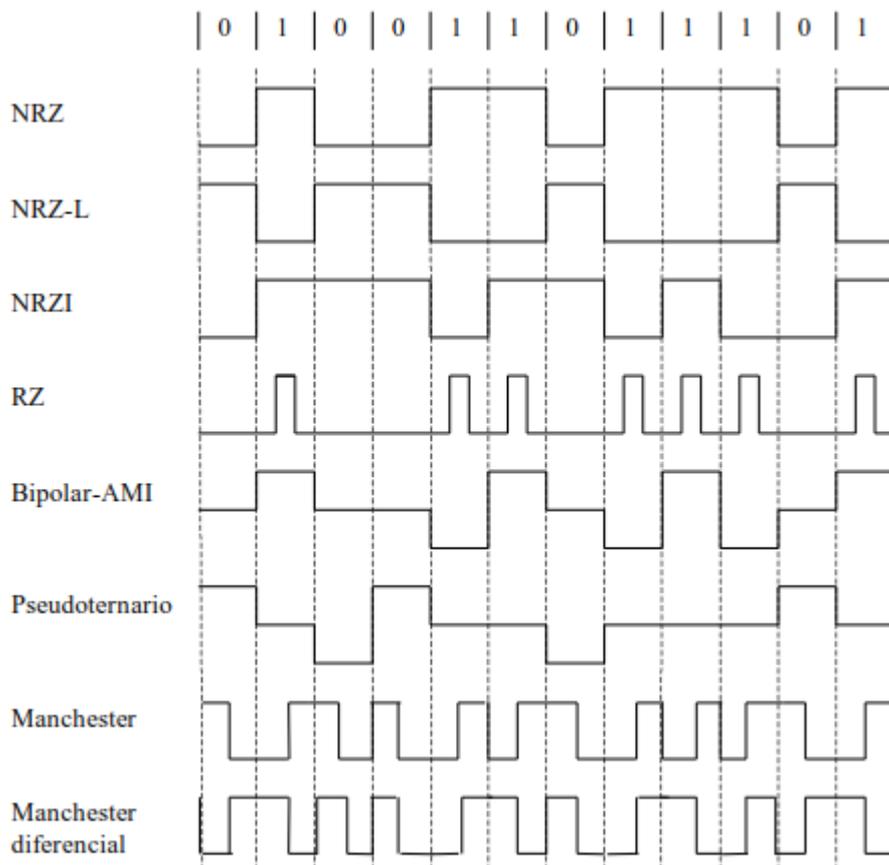


Figura 13: Esquemas de codificación de datos en una señal digital [58].



---

El código Manchester, que es el utilizado en Ethernet, se caracteriza por tener una transición que permite realizar un procedimiento de sincronización cuando se están enviando los datos. Este proceso de sincronización se realiza mediante una transición en el medio del intervalo de un bit. Un cambio en los datos de bajo a alto se representa en el código Manchester como un 1, mientras que el 0 se utiliza para representar una transición de alto a bajo.