



Universidad de Deusto  
Deustuko Unibertsitatea  
University of Deusto

ARQUITECTURA DE CONTROL WEB 2.0  
CON MICROSERVIDORES: APLICACIÓN A  
LA INDUSTRIA DE DISTRIBUCIÓN  
FARMACEÚTICA

Tesis doctoral presentada por Iván Trueba Parra  
Programa de Doctorado en Ciencia de la Computación  
Dirigida por Dr. Javier García Zubía

El Doctorando

El Director

IVÁN TRUEBA PARRA

DR. JAVIER GARCÍA ZUBÍA

Bilbao, junio de 2015





# Deusto

Universidad de Deusto  
Deustuko Unibertsitatea  
University of Deusto

**ARQUITECTURA DE CONTROL WEB 2.0  
CON MICROSERVIDORES: APLICACIÓN A  
LA INDUSTRIA DE DISTRIBUCIÓN  
FARMACEÚTICA**

Tesis doctoral presentada por Iván Trueba Parra  
Programa de Doctorado en Ciencia de la Computación  
Dirigida por Dr. Javier García Zubía

Bilbao, junio de 2015



# Resumen

**E**l objetivo de la tesis es la conceptualización y desarrollo de una nueva arquitectura de control aplicada al sector de distribución farmacéutica que permita obtener mejores presentaciones y funcionalidad a la vez que reduzca su mantenimiento y consumo energético. La arquitectura, que puede ser aplicada tanto a almacenes de distribución farmacéutica como a oficinas de farmacia, está basada en un diseño original de microservidores que son configurados en una red Ethernet industrial y en el empleo de tecnologías Web 2.0 para la programación de todos los entornos de control y comunicaciones.

La mayoría de los métodos tradicionales de control aplicados a estas instalaciones emplean arquitecturas y algoritmos basados en autómatas industriales y redes de comunicación propietarias para el manejo de dispositivos de entrada y salida, así como aplicaciones de escritorio tipo SCADA. Los microservidores desarrollados en la tesis permiten descentralizar todo el control de la arquitectura, de manera que se aumenta la robustez garantizando un alto nivel de servicio, a la vez que la accesibilidad y las tareas de configuración remota se convierten en una propiedad nativa. Los sistemas informáticos para supervisión y control de los microservidores al estar basados en tecnologías Web 2.0 se encuentran disponibles para todos los usuarios de la organización con distintos niveles de acceso a través de navegadores Web y sin necesidad de la instalación de aplicaciones específicas.

El alcance de la nueva arquitectura ha sido evaluado mediante el desarrollo de prototipos experimentales completos cuya instalación ha sido efectuada en entornos de producción reales, tanto en almacenes de distribución como oficinas de farmacia, pudiendo realizar una exhaustiva toma de datos y realizar comparativas cuantitativas y cualitativas con las mediciones tomadas con las soluciones clásicas.

Los resultados de la implementación de la arquitectura han sido plenamente satisfactorios y el desarrollo de los microservidores ha permitido obtener tres patentes nacionales y una patente internacional, cuyas licencias de explotación han sido adquiridas por varias empresas especializadas en logística e interesadas en la construcción y montaje de los almacenes del futuro en la distribución farmacéutica.

# Abstract

The main purpose of this thesis is the conceptualization and development of a new control architecture applied to pharmaceutical distribution sector to enable better performance and functionality while reducing maintenance and energy consumption. The architecture, which can be applied to both pharmaceutical distribution warehouses as pharmacies, is based on an original design with microservers that are configured in an industrial Ethernet network and the use of Web 2.0 technologies for programming all control and communication environments.

Most traditional control methods applied to these facilities employ architectures and algorithms based on industrial PLCs and proprietary communication networks for handling input and output devices and SCADA applications. The microservers developed in the thesis allow to decentralize the full control of the architecture, so that the robustness is increased by ensuring a high level of service, while accessibility and remote configuration tasks become a native property. Computer systems for monitoring the microservers are developed with Web 2.0 technologies so they are available to all users in the organization with different levels of access through Web browsers without any specific desktop application.

The scope of the new architecture has been evaluated through the development of comprehensive experimental prototypes whose installation has been made in real production environments, both in distribution warehouses and pharmacies. There has been a large collection of data from experiments as well as a quantitative and qualitative comparison with data collected with classical solutions.

The results of the implementation of the architecture have been fully satisfactory and the development of the custom microservers has yielded three national patents and one international patent whose licenses have been acquired by several companies specialized in logistics and interested in building and assembling future stores in pharmaceutical distribution.

# Laburpena

**T**esiaren helburua kontzeptualizazioa eta bere mantenua txikiago dezan momentu berean aurkezpen hobeak eta funtzionaltasuna lortzea baimentzen duen banaketa farmazeutikoko sektoreari aplikatutako kontrol-arkitektura berriko eta kontsumo energetikoko garapena da. Arkitektura, bai banaketa farmazeutikoko biltegietara bai farmazia-bulegoetara eman daitekeena, Ethernet sare industrialean eta kontrol-ingurune guztietako eta komunikazioetako programaziorako 2.0 Web teknologietako erabileran itxuratzen diren mikro-zerbitzarietan oinarritutako sistemetako jatorrizko diseinuan oinarrituta dago.

Kontrol instalazio hauei aplikatutako metodo tradizionalen gehiengoak darabiltzate arkitekturak eta automata industrialetan eta sarrerako gailuetako eta irteerako erabilerarako, baita ere SCADA idazmahai tipoa aplikazioetarako komunikazio-sare jabeetan oinarritutako algoritmoak. Tesian garatutako mikro-zerbitzariekin sistemek baimentzen dute eskuragarritasuna eta konfigurazio urruneko zereginak ezaugarri natibo bihurtzen diren momentu berean arkitekturaren kontrol guztia deszentralizatzea, hortaz sendotasuna handitzen da zerbitzu goi-maila bermatuz. 2.0 Web teknologietan oinarrituta egoterakoan gainbegiratzeko sistema informatikoak eta mikro-zerbitzarien kontrola libre aurkitzen dituzte web-nabigatzaileen bidez sarbide maila desberdinekiko antolaketaren erabiltzaile guztientzat eta aplikazio espezifikoko instalazioaren beharrik gabe.

Arkitektura berriaren garrantzia prototipo experimental beteko zeinen instalazioa ekoizpen-ingurune errealetan ebaluatu da, farmazia-bulego bezala banaketa biltegietan hainbeste, datu-hartze sakona egin ahal izanez eta egin duen garapenaren bitartez konparazio kuantitatibo eta kualitatibo neurketekin konponbide klasikoez hartuta.

Arkitekturaren inplementazioaren emaitzak osoki gogobetekoak izan dira eta mikro-zerbitzarien garapenak lau nabari lortzea baimendu du, haietako hiru nazioak eta nazioartekoa, zeinen ustiapen-lizentziak logistikan espezializatutako eta eraikuntzan interesatutako hainbat enpresak eta banaketa farmazeutikoko etorkizuneko biltegien muntaketak lortu dituzte.



# Agradecimientos

**E**sta tesis está dedicada a mi mujer por su paciencia durante las largas horas de trabajo que han sido necesarias para el desarrollo de esta tesis.

También deseo agradecer el apoyo a los centros de distribución farmacéutica y empresas de ingeniería que me han abierto las puertas para poder realizar el trabajo de investigación y actividades de experimentación necesarias para obtener los datos suficientes que permitan contrastar el resultado de la aplicación de la tesis respecto a las soluciones del estado del arte actual.

Igualmente quiero agradecer a mis padres su ayuda durante mis años de estudiante de ingeniería y su respaldo y apoyo incondicional para optar al título de doctor.



# Índice general

Índice de figuras ..... XII

Índice de tablas ..... XXI

**1. Objetivo y desarrollo de la presente tesis ..... 1**

1.1 Escenario actual en almacenes de distribución farmacéutica ..... 3

    1.1.1 Reposición en los almacenes de distribución farmacéutica ..... 10

1.2 Escenario actual en oficinas de farmacia ..... 11

1.3 Formulación de la problemática ..... 13

1.4 Hipótesis ..... 14

1.5 Objetivos específicos ..... 14

1.6 Metodología ..... 17

    1.6.1 Metodología para la obtención de patentes ..... 21

1.7 Estructura de la tesis ..... 22

**2. Estado del arte: antecedentes teóricos ..... 25**

2.1 Conceptos fundamentales de sistemas de control ..... 26

    2.1.1 Naturaleza de los controladores ..... 28

    2.1.2 Configuraciones de los sistemas de control ..... 30

2.2 Tipos de controladores ..... 32

    2.2.1 El Autómata Programable Industrial (PLC) ..... 33

        2.2.1.1 Componentes de un PLC ..... 33

        2.2.1.2 Programación del PLC ..... 34

    2.2.2 Microcontrolador ..... 36

    2.2.3 PC Industrial ..... 39

2.3 Redes de comunicación industrial ..... 40

    2.3.1 Clasificación de las redes industriales ..... 41

    2.3.2 Principales estándares en redes industriales ..... 42

        2.3.2.1 Buses de campo ..... 42

            2.3.2.1.1 Bus ASi ..... 43

            2.3.2.1.2 HART ..... 43

            2.3.2.1.3 Profibus ..... 43

            2.3.2.1.4 DEVICE Net ..... 44

            2.3.2.1.5 Interbus ..... 44

            2.3.2.1.6 Fieldbus Foundation ..... 44

2.3.2.1.7	Bus CAN .....	44
2.3.2.1.8	Modbus .....	44
2.3.2.1.9	Compobus .....	45
2.3.2.1.10	LONworks .....	45
2.3.2.2	Redes de célula y planta .....	45
2.3.2.2.1	Profibus FMS.....	46
2.3.2.2.2	Control Net.....	46
2.3.2.2.3	Modbus Plus .....	46
2.3.2.2.4	CAN Open.....	47
2.3.2.2.5	Data Highway Plus .....	47
2.3.3	Ethernet Industrial.....	47
2.3.4	Estándar OPC.....	49
2.4	Aplicaciones SCADA .....	51
2.4.1	Requisitos del SCADA .....	51
2.4.2	Componentes y módulos del SCADA .....	54
2.4.3	Soluciones SCADA comerciales.....	55
2.5	Tecnología WEB 2.0 .....	56
2.5.1	Principales características de la tecnología Web 2.0 .....	57
2.5.2	Lenguajes de programación Web 2.0 .....	58
2.5.3	WebLab - Laboratorio Remoto Web 2.0.....	59
2.5.3.1	Evolución de la Arquitectura del WebLab.....	61
2.6	Sistemas de automatización en el sector de distribución farmacéutica .....	64
2.6.1	Necesidades de la industria de distribución farmacéutica .....	64
2.6.2	Automatización de la preparación de pedidos en distribución farmacéutica .....	65
2.6.3	Sistemas para el reposicionamiento de productos en distribución farmacéutica .....	74
2.7	Patentes industriales del estado del arte .....	77
2.7.1	Patentes para la dispensación de productos .....	77
2.7.2	Patentes de manejo de conjuntos de leds .....	79
2.8	Retos tecnológicos en la automatización de la logística farmacéutica .....	82
2.9	Resumen del estado del arte .....	85
<b>3.</b>	<b>Diseño de la Arquitectura de Control Web 2.0 y algoritmos.....</b>	<b>89</b>
3.1	Arquitectura de control Web 2.0.....	91
3.1.1	Descripción de los componentes de la arquitectura .....	92
3.2	Algoritmos para la Arquitectura de Control Web 2.0 .....	98
3.2.1	Algoritmo de reparto multicanal en tiempo real.....	104
3.2.2	Algoritmo para productos pesados.....	106
3.2.3	Algoritmo para microservidores de reposición.....	107
3.3	Conceptualización de los microservidores de la Arquitectura de Control Web 2.0.....	109
3.3.1	Unidad de procesamiento.....	114

3.3.2	Circuito de alimentación .....	116
3.3.3	Unidad de Red .....	117
3.3.4	Entradas y salidas del microservidor .....	120
3.3.5	Bus Interno de Expansión .....	121
3.4	Patente del microservidor de dispensación .....	122
3.4.1	Descripción detallada del microservidor de dispensación.....	124
3.4.2	Reivindicaciones intelectuales microservidor de dispensador .....	132
3.5	Patente del microservidor de reposición .....	135
3.5.1	Descripción detallada del microservidor de reposición.....	137
3.5.2	Reivindicaciones intelectuales del microservidores de reposición.....	142
3.6	Patente del sistema de reposicionamiento automático basado en microservidores.....	144
3.6.1	Descripción detallada de la instalación de reposicionamiento automático	147
3.6.2	Reivindicaciones intelectuales del sistema de reposicionamiento automático.....	155
3.7	Diseño informático de la Arquitectura de Control Web 2.0 .....	158
3.7.1	Base de datos MySQL .....	162
3.7.2	SCADA Web 2.0 .....	165
3.8	Resumen de la arquitectura propuesta .....	166
<b>4.</b>	<b>Implementación y validación de la Arquitectura de Control Web 2.0.....</b>	<b>169</b>
4.1	Implementación de la Arquitectura de Control Web 2.0 .....	170
4.1.1	Prototipo de microservidores de dispensación .....	170
4.1.2	Prototipo de microservidores de reposición.....	176
4.1.3	Prototipo de instalación de reposicionamiento automático .....	179
4.1.4	Equipos Auxiliares .....	183
4.1.5	Ordenador servidor y periféricos informáticos.....	186
4.2	Desarrollo software SCADA .....	190
4.3	Toma de datos .....	200
4.4	Análisis de los Datos .....	210
4.4.1	Velocidad de dispensación.....	210
4.4.2	Velocidad de preparación de pedidos .....	211
4.4.3	Tasa de errores por carril vacío .....	213
4.4.4	Tasa de errores por carril atascado .....	214
4.4.5	Horas de reposición carga de carriles.....	214
4.4.6	Tasa de errores de reposición .....	215
4.4.7	Tiempo de reposición carril vacío .....	215
4.4.8	Horas de mantenimiento semanal .....	216
4.4.9	Capacidad media de los carriles.....	216
4.4.10	Consumo eléctrico .....	217
4.4.11	Tiempo de instalación.....	217
4.4.12	Tiempo de ajuste y pruebas .....	218
4.4.13	Telemantenimiento y control remoto .....	218

4.4.14	Coste económico de la instalación.....	219
4.4.15	Coste económico del mantenimiento.....	219
4.4.16	Modularidad.....	219
4.4.17	Nivel de ruido.....	220
4.5	Resultado de los cuestionarios.....	220
4.6	Resumen del capítulo de implementación y validación.....	222
<b>5.</b>	<b>Conclusiones y líneas futuras de trabajo.....</b>	<b>225</b>
5.1	Validación de la hipótesis.....	229
5.2	Consecución de objetivos.....	229
5.3	Resultados.....	232
5.4	Conclusiones.....	233
5.5	Líneas futuras de trabajo.....	235
	<b>Glosario.....</b>	<b>239</b>
	<b>Bibliografía.....</b>	<b>243</b>
	<b>Anexo de patentes.....</b>	<b>251</b>

# Índice de figuras

Figura 1.1. Farmacia automatizada con entrega de productos en mostrador. ....	2
Figura 1.2. Arquitectura clásica de control industrial. ....	4
Figura 1.3. Dispensador automático de medicamentos del fabricante KNAPP. ....	5
Figura 1.4. Ejemplo de almacén de distribución farmacéutica automatizado conforme el estado del arte actual. ....	6
Figura 1.5. Vista en perspectiva 3D de un almacén de distribución farmacéutica automatizado conforme el estado del arte actual desde la zona de súper alta rotación y estaciones de dispensación automática. ....	7
Figura 1.6. Vista en perspectiva 3D de un almacén de distribución farmacéutica automatizado conforme el estado del arte actual desde la zona del muelle, apreciando las estaciones de control de calidad, baja rotación y media rotación. ....	8
Figura 1.7. Código QR para acceso al link que muestra en un video el recorrido de las cubetas en perspectiva 3D sobre el almacén farmacéutico explicado. ....	10
Figura 1.8. Vista del área de reposición de medicamentos en sistema de dispensación automático del fabricante SSI-SCHÄFER, conforme el escenario actual en almacenes de distribución farmacéutica. ....	11
Figura 1.9. Robot manipulador con pinzas para automatización de farmacia. ....	12
Figura 1.10. Metodología general de trabajo seguido para el desarrollo de la tesis doctoral. ....	18
Figura 2.1. Concepto elemental de Sistema de Control Industrial. ....	26
Figura 2.2. Estrategia de control en lazo cerrado. ....	28
Figura 2.3. Configuración de Sistema de Control CIM en varios niveles. ....	31
Figura 2.4. Autómata Programable Industrial (PLC) del fabricante Mitsubishi (Mitsubishi, 2014). ....	34

Figura 2.5. El ciclo de scan del autómeta determina la velocidad de respuesta del sistema de control industrial para cada aplicación desarrollada. ....	35
Figura 2.6. Arquitectura interna de un microcontrolador. Integra en un único chip todos los elementos básicos de un computador.....	37
Figura 2.7. Los microcontroladores se encuentran en distintos encapsulados y capacidades, todos los fabricantes tienen gamas muy extensas.....	38
Figura 2.8. Los PC industriales destacan por su robustez frente a los computadores convencionales. ....	39
Figura 2.9. Ejemplo de planificación de red industrial. En el estado del arte actual conviven distintos tipos de redes, encargados de los niveles de gestión, supervisión, control, actuadores y sensores. ....	42
Figura 2.10. OPC es una iniciativa de Microsoft para tratar de solventar los problemas de compatibilidad entre los programas SCADA y la gran variedad de redes de comunicación y fabricantes de autómetas del mercado. ....	50
Figura 2.11. Ejemplo de programa SCADA para un proceso de control de riego. ....	52
Figura 2.12. WebLab de la Universidad de Deusto.....	60
Figura 2.13. Cuarta versión de la arquitectura del WebLab, se emplean tecnologías Web 2.0 y surge el concepto de microservidor asociado al hardware del laboratorio.....	63
Figura 2.14. Los dispensadores de columna vertical ocupan un gran espacio en el almacén en relación producto automatizado / superficie requerida. ....	66
Figura 2.15. Dispensadores de balda inclinada con accionamiento neumático. ....	68
Figura 2.16. Dispensador basado en manipulador con ejes cartesianos. Al realizar las tareas una a una, es adecuado para farmacias, no para almacenes de distribución.....	72
Figura 2.17. Solución de almacenamiento automático con robots grúa para automatización de almacenes.....	73
Figura 2.18. Las soluciones tradicionales con PDA ayudan a la gestión, pero no ayudan de forma óptima a la localización y tránsito de los productos por el interior del almacén.....	74

Figura 2.19. Soluciones tecnológicas pick-to-light y put-to-light del estado del arte actual para localización de productos en un almacén.....	75
Figura 2.20. Leds autoadhesivos en tiras, no permiten control individual de cada led iluminado.....	76
Figura 2.21. Dispensador de la patente US 5141128. ....	77
Figura 2.22. Dispensador de la patente EP 1357526 A2. ....	78
Figura 2.23. Dispensador de la patente WO2004036516. ....	79
Figura 2.24. Dibujo conceptual del desarrollo de la patente europea EP 1006759B1. ....	80
Figura 2.25. Imágenes extraídas del modelo de utilidad 1 067 877 (dispositivo de iluminación por barra de diodos LED).....	81
Figura 2.26. Patente US2004088229 para la señalización visual de productos en estanterías.....	81
Figura 2.27. Arquitectura de control para la automatización de la logística de la industria farmacéutica.....	86
Figura 3.1. Arquitectura de Control Web 2.0, principales componentes. ....	94
Figura 3.2. Sincronización de preparación de varios pedidos simultáneos con los microservidores. ....	101
Figura 3.3. Código QR para acceso al link que muestra en un video de preparación de pedidos con el algoritmo de la Arquitectura de Control Web 2.0.....	103
Figura 3.4. Parte del código fuente PHP que gestiona la asignación de carriles multicanales. ....	104
Figura 3.5. Organigrama del algoritmo de la Arquitectura de Control Web 2.0 para el proceso de preparación de pedidos.....	105
Figura 3.6. Organigrama del algoritmo de la Arquitectura de Control Web 2.0 para el proceso de reposición de los carriles.....	108
Figura 3.7. Arquitectura de microservidor para Arquitectura de Control Web 2.0 basado en microcontrolador o DSP. ....	112
Figura 3.8. Arquitectura de microservidor para Arquitectura de Control Web 2.0 basado en microprocesador,.....	113

Figura 3.9. Circuito de alimentación conmutado, válido para su uso en microservidores.....	117
Figura 3.10. El circuito ENC28J60 da acceso a Ethernet a través del bus SPI a los microcontroladores, DSP o microprocesadores.....	117
Figura 3.11. El circuito ENC624J600 da acceso a Ethernet a través del bus SPI con un motor de seguridad hardware criptográfico.....	118
Figura 3.12. La familia de microcontroladores PIC 18F97J60 incorpora el acceso a red Ethernet en su propia arquitectura interna. ....	119
Figura 3.13. Circuito de acondicionamiento optoacoplado de señales industriales de entrada de tipo 24 V PNP diseñado y recomendado. La señal de entrada PNP es una de las más habituales en el entorno industrial. ....	120
Figura 3.14. Circuito de acondicionamiento optoacoplado de señales industriales de salida de tipo 24 V PNP diseñado y recomendado. La señal de salida PNP es una de las más habituales en el entorno industrial. ....	121
Figura 3.15. Vista de perfil y en planta del diseño del microservidor de dispensación. ....	124
Figura 3.16. Concepto de instalación de los microservidores de dispensación en la balda. ....	126
Figura 3.17. Vista en planta de microservidores dispensadores instalados en la balda.....	127
Figura 3.18. Modo de instalación de los microservidores dispensadores.....	128
Figura 3.19. Concepto mecánico del proceso de dispensación electromagnético del microservidor.....	129
Figura 3.20. Concepto de instalación con microservidores de dispensación y elementos complementarios.....	130
Figura 3.21. Vista de perfil de la instalación con las rampas de frenado. ....	131
Figura 3.22. Vista frontal, vista en planta y vista posterior de un microservidor con formato de tira de leds modular.....	137
Figura 3.23. Ejemplo de interconexión angular de los microservidores de la instalación, mediante un conector accesorio.....	139

Figura 3.24. Perspectiva de una tira modular dentro de una cubierta transparente de protección. ....	140
Figura 3.25. Diagrama en bloques del conjunto funcional del microservidor de reposición. ....	140
Figura 3.26. Esquema de la aplicación de la instalación de microservidores de reposición en el conjunto de una distribución de estanterías de un almacén. ....	141
Figura 3.27. Código QR para acceso al link que muestra en un video de preparación de pedidos con el algoritmo de la Arquitectura de Control Web 2.0. ....	147
Figura 3.28. Vista en perspectiva del sistema de acumulación y transporte de medicamentos de la instalación e reposición automática. ....	147
Figura 3.29. Vista en planta de un acumulador cíclico de la instalación para el reposicionamiento automático de productos comerciales. ....	148
Figura 3.30. Vista en perspectiva de una realización preferente de la instalación, con tres niveles de acumuladores cíclicos. ....	148
Figura 3.31. Vista en perspectiva de uno de los carros portadores de productos que disponen los acumuladores cíclicos. ....	149
Figura 3.32. Vista en perfil del carro en posición elevada para el trasvase del producto, o productos que transporte. ....	149
Figura 3.33. Vista en perfil de un carro portador de los productos. ....	150
Figura 3.34. Vista esquemática con diferentes posibles configuraciones para los acumuladores cíclicos de la instalación. ....	150
Figura 3.35. Vista en perspectiva del elemento manipulador encargado de recibir y posicionar los productos. ....	152
Figura 3.36. Vista en perfil del elemento manipulador montado sobre unas unidades de desplazamiento horizontal y vertical. ....	152
Figura 3.37. Vista en planta del palpado y medición del producto en el manipulador previo a su inserción en el carril automático. ....	153
Figura 3.38. Vista en planta dos fases del procedimiento de posicionamiento de un producto para su correcta inserción en la máquina dispensadora correspondiente. ....	154

Figura 3.39. Diagrama de bloques y relaciones de los componentes software de la Arquitectura de Control Web 2.0.....	159
Figura 3.40. Diagrama conceptual de relación de la base de datos MySQL .....	164
Figura 3.41. Comparativa tecnológica entre la solución clásica y la solución propuesta.....	167
Figura 4.1. Diseño 3D renderizado del interior de la carcasa para contener los elementos del microservidor. ....	171
Figura 4.2. Diseño 3D renderizado del microservidor con la carcasa cerrada. ....	172
Figura 4.3. Diseño 3D renderizado de la estructura conteniendo los microservidores dispensadores. Se aprecian configuraciones de microservidores dobles y triples en la parte inferior del armario.....	173
Figura 4.4. Instalación prototipo de 1.000 microservidores de dispensación con la Arquitectura de Control Web 2.0.....	174
Figura 4.5. Switch de comunicaciones y alimentación para 250 microservidores de dispensación. La sustitución de una electrónica por otra, es tan sencillo como desconectar en orden los cables y conectarlos en un equipo nuevo. ....	176
Figura 4.6. Microservidores de reposición con leds equipados en la parte trasera de las baldas para reposicionamiento semiautomático e indicación de carriles vacíos. ....	177
Figura 4.7. Los leds iluminados de forma fija por los microservidores de reposición indican que el carril correspondiente está vacío de producto y requiere reposición. ....	178
Figura 4.8. Instalación prototipo de reposicionamiento automático .....	179
Figura 4.9. Vista del prototipo de reposicionamiento automático, apreciando la cinta de entrada de medicamentos hacia el sistema de acumuladores. ....	180
Figura 4.10. Diseño 3D del sistema de acumulación y transporte patentado.....	181
Figura 4.11. Manipulador de carga, capaz de medir el medicamento para comprobar su validez, rotarlo en caso necesario y medir con un laser el número de medicamentos cargados por carril. ....	182
Figura 4.12. Switch con alimentación para los microservidores de reposición, con capacidad de manejo de hasta 90 microservidores de reposición. ....	183

Figura 4.13. Cintas transportadoras horizontal e inclinada para la recogida de los productos desde los microservidores de dispensación hasta el punto de entrega en la caja. ....	184
Figura 4.14. Camino de rodillos para movimiento de cubetas hacia cinta de dispensación y desviador para cubetas con errores durante la preparación del pedido. ....	185
Figura 4.15. Ejemplo de instalación en perspectiva 3D de la instalación para almacenes de distribución farmacéutica. ....	187
Figura 4.16. Vista 3D en planta de la instalación del sistema para almacenes de distribución farmacéutica. ....	188
Figura 4.17. Diseño3D del sistema adaptado en dimensiones para farmacias y con cerramiento translúcido. ....	189
Figura 4.18. Diseño de la base de datos MySQL para el desarrollo de los prototipos. ....	191
Figura 4.19. Acceso por usuarios a través de la página del SCADA Web 2.0. ....	192
Figura 4.20. La tabla ubicaciones se emplea para la configuración de microservidores. ....	192
Figura 4.21. La tabla producto se sincroniza en tiempo real con el ERP y contiene el maestro de productos de la empresa con todos sus parámetros. ....	193
Figura 4.22. Los pedidos, cubetas, líneas preparadas y la trazabilidad es gestionada en tiempo real por el SCADA. ....	194
Figura 4.23. La gestión de rutas es un proceso complementario a la preparación de pedidos que también permite gestionar de forma integral el SCADA. ....	195
Figura 4.24. La generación automática de estadísticas ayuda a los procesos de compra de mercancía, ya que su acceso es directo vía Web con el Departamento de Compras. ....	196
Figura 4.25. La generación automática de informes de mantenimiento guía a los operarios para la revisión y ajuste de la instalación. ....	196
Figura 4.26. Los gráficos de rotación de las máquinas obtenidos directamente de los microservidores ayudan a la optimización de los carriles y a la gestión general del almacén. ....	198

Figura 4.27. El reposicionamiento dispone de su propio entorno específico en el SCADA, el proceso se inicia escaneando el código de barras del producto a reponer.....	199
Figura 4.28. La visualización gráfica de los carriles de los módulos de dispensación mediante colores y con datos simplificados o ampliados facilita el trabajo de reconfiguración y ajuste de las máquinas.....	200
Figura 4.29. Línea de dispensadores con Arquitectura de Control Web 2.0 (izquierda) y línea con solución clásica (derecha), funcionando en paralelo en la preparación de pedidos y usado como escenario para la evaluación y toma de datos comparativos.....	201
Figura 4.30. Módulo adaptado para oficina de farmacia y sobre el que se ha realizado la toma de datos.....	209
Figura 5.1. Logos corporativos de las empresas colaboradoras en la financiación de la tesis doctoral, Microtiker S.L. y Cenker Robotics S.L.....	228
Figura 5.2. Empresas de distribución farmacéutica que han colaborado para la toma de datos y análisis de los resultados de la Arquitectura de Control Web 2.0 en almacenes de distribución farmacéutica y oficinas de farmacia.....	228
Figura 5.3: En un futuro la conexión entre microservidores de farmacia y almacén permitirá con el software adecuado una gestión automática de los stocks y las compras.....	236

# Índice de tablas

Tabla 1-1. Cuestionario empleado para la recogida de datos en las entrevistas.....	19
Tabla 2-1. Normas de organismos internacionales que incluyen Ethernet Industrial.....	49
Tabla 2-2. Principales fabricantes internacionales de sistemas de automatización para la logística del sector de distribución farmacéutica mediante dispensadores automáticos. ....	71
Tabla 2-3. Principales fabricantes internacionales de sistemas de automatización para la logística del sector de distribución farmacéutica mediante dispensadores automáticos. ....	72
Tabla 2-4. Resultados del cuestionario empleado para la recogida de datos en las entrevistas.....	83
Tabla 4-1. Email diario enviado por el SCADA a los responsables de la línea para recogida y análisis de datos.....	203
Tabla 4-2. Email semanal enviado por el SCADA a los responsables de la línea para recogida y análisis de datos.....	204
Tabla 4-3. Resumen comparativo de tecnologías, Arquitectura de Control Web 2.0 frente solución clásica aplicado a almacenes farmacéuticos.....	206
Tabla 4-4. Resumen comparativo de eficacia, Arquitectura de Control Web 2.0 frente solución clásica aplicado a almacenes farmacéuticos.....	206
Tabla 4-5. Resumen comparativo de eficiencia, Arquitectura de Control Web 2.0 frente solución clásica aplicado a almacenes farmacéuticos.....	207
Tabla 4-6. Resumen comparativo, Arquitectura de Control Web 2.0 frente solución clásica aplicado a las oficinas de farmacia.....	208
Tabla 4-7. Comparativa de la velocidad de dispensación de ambos sistemas. ....	211
Tabla 4-8. Comparativa de la velocidad de preparación de pedidos de ambos sistemas .....	212

Tabla 4-9. Resultados del cuestionario empleado para evaluar el funcionamiento de la Arquitectura de Control Web 2.0.....	221
---	-----

## Capítulo

# 1

## Objetivo y desarrollo de la presente tesis

**H**oy en día la aplicación de la automatización y el control industrial es cada vez más necesaria e importante. En las instalaciones industriales para la producción, el montaje, la fabricación y la logística, el rendimiento y la productividad son factores clave para el logro de los objetivos, y en los cuales una interrupción de la actividad por cualquier motivo causa graves pérdidas económicas (Vyatkin, 2013). Todos los sectores tienden a automatizar sus procesos para aumentar el rendimiento, reducir los costes y ofrecer un servicio más rápido y más satisfactorio. El sector farmacéutico y en concreto la logística y manejo optimizado de sus almacenes a los que está dirigida la presente tesis industrial y las patentes que de ella se han obtenido, representa un claro ejemplo de una industria con necesidades importantes para la automatización y el control automático de los procesos.

En concreto la distribución de productos farmacéuticos es una de las aplicaciones más exigentes de control en tiempo real. Un almacén de distribución tiene que preparar, todos los días, miles de pedidos y distribuirlos a cientos o miles de farmacias en muy poco tiempo. El día a día en la farmacia es muy agitado, tratando con clientes, buscando los medicamentos solicitados, la preparación de pedidos y gestión de las compras. Todas las farmacias hacen sus pedidos al mismo tiempo y en intervalos muy cortos, al mediodía o al final de la jornada. Los

## ***1. Objetivo y desarrollo de la presente tesis***

---

almacenes de distribución farmacéutica tienen que ser capaces de recibir, procesar y preparar todas estas órdenes en un tiempo muy ajustado (García Zubía y Trueba, 2010).

Por ejemplo, si una farmacia envía una orden a las 13:30, los productos de dicha orden, que pueden incluir 100 medicamentos distintos y 200 unidades de producto, tienen que ser entregados antes de las 16:00. Si esta misma situación se repite con miles de farmacias, ¿cómo es posible preparar tantos pedidos, muchos de ellos con decenas de productos, en estos intervalos tan cortos de tiempo? Gracias al proceso industrial automatizado, con un alto número de controladores, ordenadores y robots de dispensación industrial a cargo de la preparación de todos los pedidos (Unver, 2011).

Las soluciones de automatización clásicas usadas en este sector de distribución farmacéutica emplean los elementos comunes de los sistemas de control industrial, basándose en programas para la Adquisición de Datos (SCADA), buses de campo específicos, autómatas industriales y bases de datos propietarias (Cooley y Petrusich, 2013). En cualquier instalación de este tipo, es necesario controlar miles de sensores y actuadores para los procesos de dispensación de las cajas de medicamentos. Los actuadores suelen ser neumáticos, y también intervienen en el conjunto del sistema rodillos transportadores, cintas transportadoras, lectores de código de barras, sistemas RFID y mecanismos clasificadores de cubetas.



*Figura 1.1. Farmacia automatizada con entrega de productos en mostrador.*

A nivel de oficina de farmacia o almacén hospitalario, la automatización facilitaría el trabajo diario del farmacéutico, que no tendría que preocuparse por buscar cada medicamento, lo que les permite ofrecer una mejor atención a cada cliente y un mejor control del stock. La farmacia automatizada se convierte en una farmacia mucho más dinámica y permite un mayor flujo de clientes con la satisfacción de recibir un mejor trato personal, ya que el farmacéutico dispone de más tiempo para su atención. Algunas otras ventajas de las farmacias automatizadas son el mejor uso del espacio físico, el control de lotes y caducidades y la reducción de errores (Chapuis y Roustit, 2010).

### **1.1 Escenario actual en almacenes de distribución farmacéutica**

Las soluciones automatizadas clásicas para los almacenes de medicamentos se basan en máquinas o robots que dispensan automáticamente las órdenes de preparación de cada pedido. Estos sistemas están contruidos como estanterías de múltiples canales (KNAPP, 2015), cada uno de los cuales es utilizado para dispensar un tipo distinto de caja de medicamentos, por lo que es necesario controlar individualmente miles de estos canales que deben funcionar sincronizados en tiempo real. El sistema de control del robot se compone de controladores lógicos programables que emplean buses de campo y de red específicos.

Estos controladores, también denominados autómatas industriales o PLCs (*Programmable Logic Controller*), son los dispositivos empleados masivamente en los procesos de automatización industrial conforme el estado del arte actual, y existen distintos fabricantes que los comercializan categorizados en familias en función de su capacidad de procesamiento, posibilidades de expansión y número de dispositivos a conectar.

Cada PLC es el encargado de controlar una gran cantidad de entradas y salidas procedentes de los múltiples canales que dispensan los medicamentos y de recibir las órdenes que el servidor de la empresa envía a través del programa de gestión ERP, que a su vez está conectado con las farmacias que realizan los pedidos. En este tipo de arquitectura (SSI-SHÄFER, 2015), el PLC es el elemento principal de control del sistema y tiene que gobernar todas las acciones: recibir órdenes del servidor ERP de la empresa, enviar órdenes a los actuadores neumáticos, recibir la lectura de todos los sensores, comprobar la validez de las comunicaciones, gestionar las posibles alarmas y así sucesivamente.

Esta arquitectura clásica utiliza habitualmente varios buses de comunicación, algunos utilizados para conectar los autómatas a los niveles superiores de control y otros denominados buses de campo para conectar el PLC con la electrónica de control específica para el manejo de los actuadores y sensores de los carriles de

## 1. Objetivo y desarrollo de la presente tesis

medicamentos. En la Fig. 1.2 se puede apreciar la arquitectura clásica de control que podemos encontrar en las empresas de distribución farmacéutica.

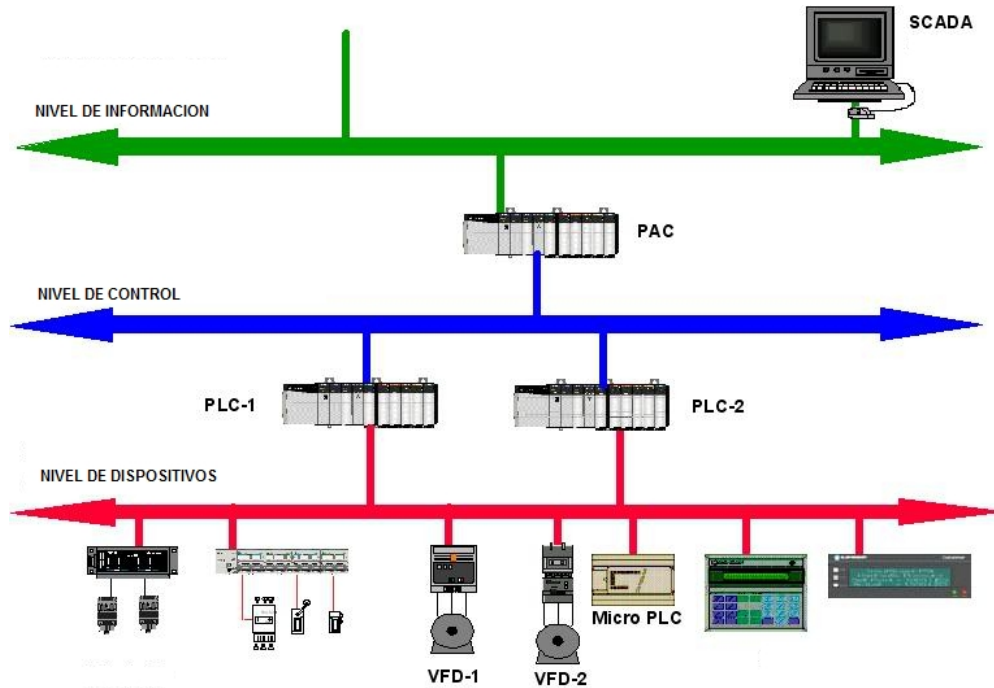


Figura 1.2. Arquitectura clásica de control industrial.

Las farmacias realizan los pedidos y son registrados en el servidor de la empresa de distribución a través de su programa ERP. El servidor ERP realiza muchas funciones en esta arquitectura, es el programa encargado tanto de las tareas de gestión como las compras, proveedores, clientes, o facturación de la empresa, como el encargado de gestionar toda la logística interna del almacén, como los pedidos de entrada, ubicaciones de productos, órdenes de salida, stocks, etc. El servidor ERP es capaz de diferenciar entre los productos almacenados en las secciones automáticas y los almacenados en las secciones manuales, para generar distintos órdenes de preparación en función de la zona del almacén.

En estos grandes almacenes, por lo general hay varias estaciones automáticas, cada una con su autómata general de control, y en cada estación se gestionan varios cientos de productos. Por esta razón, suele ser necesario un servidor adicional para la distribución de las órdenes del ERP a cada estación correspondiente. Una vez que los datos de los pedidos son enviados a las estaciones, cada autómata tiene que coordinar todos los movimientos de las cajas en las que se va a preparar cada pedido, la cinta transportadora encargada de la recogida de los medicamentos, los actuadores de los carriles dispensadores, los posibles carriles vaciados, etc. A través

de un programa SCADA específico, el usuario puede ver el estado de funcionamiento de la instalación así como los pedidos completados en todo momento.

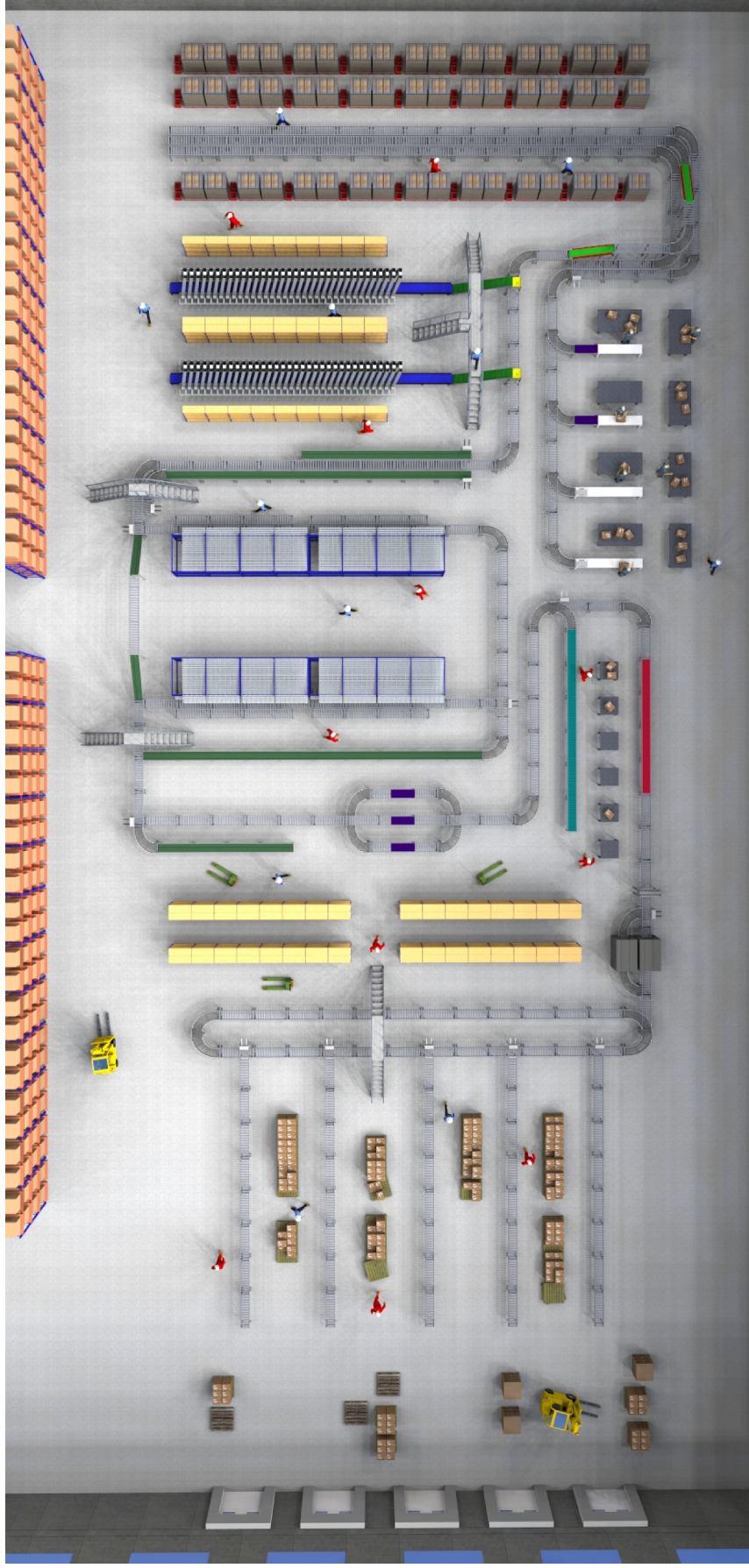


*Figura 1.3. Dispensador automático de medicamentos del fabricante KNAPP.*

En las Fig. 1.4, Fig. 1.5 y Fig. 1.6 se muestra el diseño de un almacén de distribución farmacéutica moderno conforme el estado del arte actual. El proceso de preparación de pedidos se inicia en el denominado punto de lanzamiento, en el que los operarios asignan a unas cubetas o cajas los pedidos que deben ser preparados en ellas. Dichas cajas se mueven automáticamente por el almacén recorriendo distintas estaciones de preparación. En el plano mostrado en dichas figuras el primer recorrido realizado por las cajas es hacia la zona denominada de súper alta rotación, en la que se ubican directamente sobre paletas los productos del almacén de mayor venta, que suelen ser los 10 ó 20 productos de mayor rotación o bien productos promocionales como catálogos, que deben ser incorporados prácticamente en todos los pedidos.

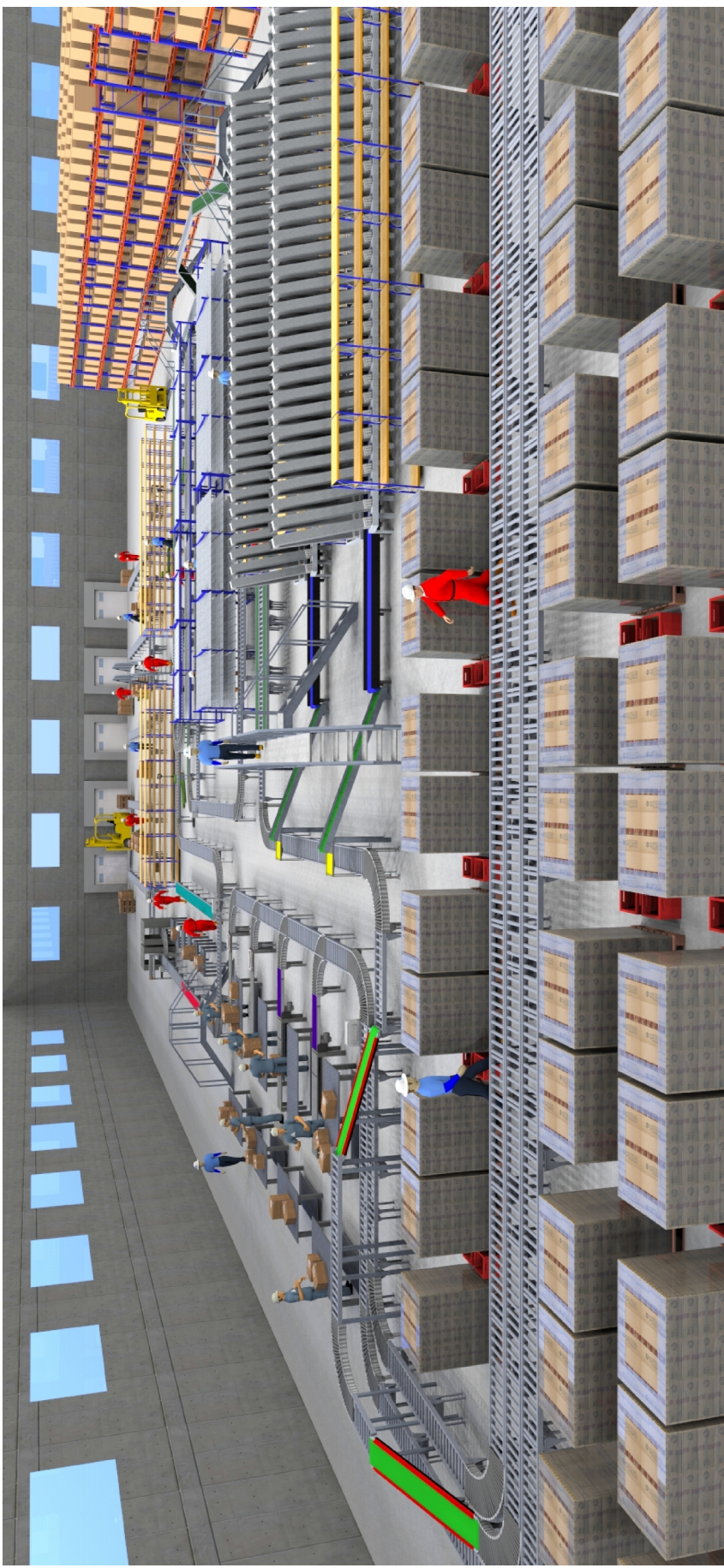
Desde esta zona las cajas viajan automáticamente hacia las líneas de preparación automática en las que se cargan en dispensadores los productos de alta rotación. En estas estaciones los medicamentos son introducidos desde las máquinas dispensadoras a las cajas automáticamente a través de cintas transportadoras, y los pedidos serán completados hasta en un 80% del total de las líneas solicitadas.

**1. Objetivo y desarrollo de la presente tesis**



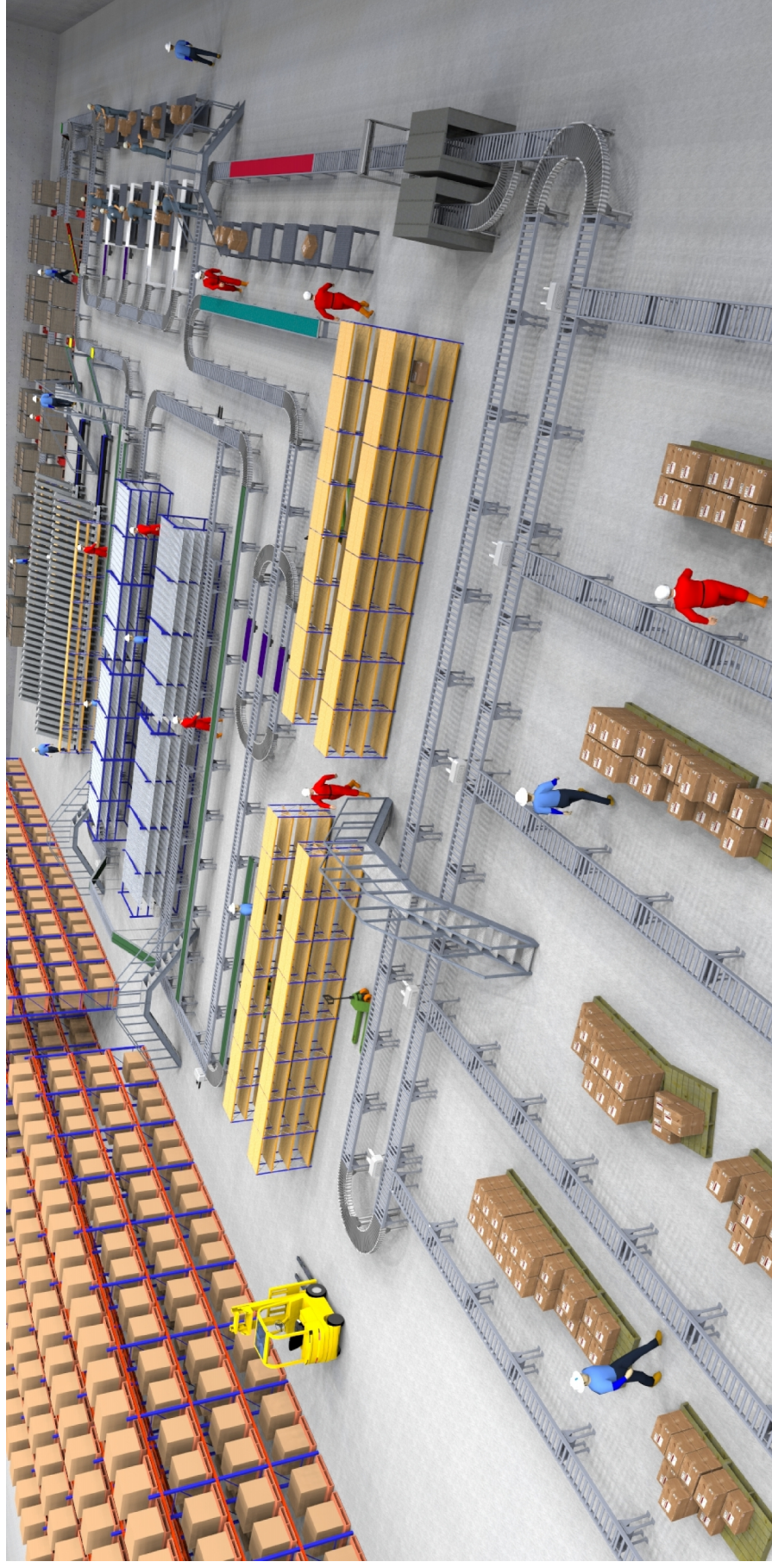
*Figura 1.4. Ejemplo de almacén de distribución farmacéutica automatizado conforme el estado del arte actual.*

**1.1. Escenario actual en almacenes de distribución farmacéutica**



*Figura 1.5. Vista en perspectiva 3D de un almacén de distribución farmacéutica automatizado conforme el estado del arte actual desde la zona de súper alta rotación y estaciones de dispensación automática.*

**1. Objetivo y desarrollo de la presente tesis**



*Figura 1.6. Vista en perspectiva 3D de un almacén de distribución farmacéutica automatizado conforme el estado del arte actual desde la zona del muelle, apreciando las estaciones de control de calidad, baja rotación y media rotación.*

Dado que hasta el 80% de las líneas de los pedidos pueden llegar a ser preparadas en las líneas de dispensación automática, es evidente que estas máquinas requieren un fuerte trabajo de reposición y carga de medicamentos. La capacidad de los carriles debe ser dimensionada a la rotación de los productos que son cargados en ellos, de manera que ciertos productos de gran venta pueden requerir de varios carriles automáticos para que sean expulsados sin que el dispensador automático se quede sin stock de mercancía.

Tras las estaciones de dispensación automática hay que habilitar carriles específicos para que sean desviadas las cubetas que no han podido ser correctamente preparadas, bien por falta de mercancía en los carriles de los dispensadores o porque la máquina detecta algún atasco o anomalía que ha impedido su preparación. Estas cubetas deben ser atendidas por operarios que se encargan tanto de subsanar el error que se ha producido en la cubeta como de atender el carril del dispensador causante del error, para que quede bien repuesto para atender a las siguientes cajas que se están dirigiendo a las estaciones y que pueden requerir el mismo producto causante de dicho error.

Superada las líneas de dispensación automática se encuentran las estaciones de media y baja rotación. Las estaciones de media rotación se realizan con estanterías de tipo dinámico, que están compuestas por carriles con roldanas que permiten la carga de los productos en cajas desde la parte trasera de la estantería, y su movimiento por gravedad hacia la parte delantera conforme los operarios van vaciando y retirando las cajas. En estas zonas de media rotación las cajas entran automáticamente por debajo de las estanterías dinámicas y el operario trabaja con la técnica de *pick & pass*, que consiste en recoger los productos de la estantería dinámica de la que se hace cargo, introducirlos en la caja correspondiente y pasar dicha caja hacia la siguiente estación de estanterías en la que se encuentra otro compañero. Un carril automático se encarga de dar salida del circuito a las cajas que están completamente preparadas sin necesidad de que recorran todas las estaciones.

El área de baja rotación se compone de estanterías sencillas distribuidas en forma de pasillos y con cuatro o cinco niveles de carga por estantería. En esta estación tan sólo se desviarán un 5% de las cubetas y la técnica habitualmente escogida es la preparación mediante ordenador de mano tipo PDA, escaneando la cubeta desviada y recorriendo los pasillos de forma manual en busca de los productos a recoger y que son mostrados en la pantalla del ordenador de mano.

Tras la zona de baja rotación las cubetas completadas se dirigen hacia la estación de control de calidad, en la que las cajas son pesadas y desviadas opcionalmente hacia los puestos de escaneado y control de calidad de los pedidos. Superados esta estación las cajas se dirigen a un circuito en forma de óvalo en la que son clasificadas automáticamente por rutas mediante unos desviadores que actúan

entre los rodillos, para que sean cargadas por los transportistas encargados de su reparto a las farmacias. En el siguiente link se muestra en vídeo en 3D del recorrido de las cubetas por el almacén farmacéutico descrito: <https://youtu.be/t22cl-6IEfI>.



*Figura 1.7. Código QR para acceso al link que muestra en un video el recorrido de las cubetas en perspectiva 3D sobre el almacén farmacéutico explicado.*

### **1.1.1 Reposición en los almacenes de distribución farmacéutica**

Los sistemas de dispensación automática basados en el empleo de un gran número de carriles con múltiples productos conllevan un fuerte trabajo de reposición de productos ya que es una labor tediosa y por otro lado imprescindible para que el sistema pueda funcionar de forma óptima.

En las soluciones automáticas presentes en el estado del arte actual, el reposicionamiento y carga de los carriles de los armarios de dispensación automática es totalmente manual, disponiendo únicamente el operario de una etiqueta con el código de barras y la descripción del artículo asociado a cada carril como medio para la localización de las ubicaciones de los artículos, pero que si bien cumple una función de control de calidad y comprobación, difícilmente facilita la labor de la búsqueda de los carriles y reposición de los productos.

Otras soluciones tecnológicas puestas en práctica para la gestión de la reposición de los almacenes farmacéuticos con dispensadores automáticos, consisten en el empleo de ordenadores portátiles de mano, tipo PDA, de modo que el operario puede escanear el código de barras de cada artículo que tiene que reponer o del carril que se encuentra vacío para recibir en la pantalla del terminal información sobre las ubicaciones (Mengfei, Yu, 2008). Este sistema ayuda a la gestión en tiempo real de stocks, pero requiere igualmente experiencia y pericia de la persona operaria para localizar las ubicaciones de los artículos distribuidos en el almacén y los carriles de las máquinas dispensadoras.

Sistemas más avanzados combinan el uso de PDA con mensajes de voz para ayudar al operario en las indicaciones sobre la ubicación de los artículos, pero requieren igualmente de un conocimiento específico sobre el almacén para poder realizar las operaciones con celeridad y exactitud.



Figura 1.8. Vista del área de reposición de medicamentos en sistema de dispensación automática del fabricante SSI-SCHÄFER, conforme el escenario actual en almacenes de distribución farmacéutica.

### 1.2 Escenario actual en oficinas de farmacia

Visto cómo es el escenario de trabajo de un almacén farmacéutico, toca analizar cómo es la operativa de las oficinas de farmacia, al ser un entorno en el que puede ser igualmente aplicada la nueva arquitectura de control con microservidores. La automatización de las oficinas de farmacia es un concepto que se ha desarrollado desde principios de los años 90. Hoy en día, existen diferentes tipos de robots de dispensación, dependiendo de la clase de productos que desean ser automatizados y la rotación de dichos productos. La principal clasificación de los tipos de robots para farmacias son los que manejan unos pocos tipos de productos y muchas unidades (alta rotación), los que manejan muchos tipos de productos con pocas unidades (baja rotación) y el sistema híbrido que combina elementos de ambos modelos (ROWA, 2015).

## ***1. Objetivo y desarrollo de la presente tesis***

---

Los robots dispensadores de alta rotación se caracterizan por estar compuestos por un conjunto de estanterías inclinadas, que almacenan diferentes tipos de productos en cada carril, estando dentro de dicho carril los productos uno detrás del otro (Apoteka, 2015). Estos robots son los más similares a los robots utilizados en los almacenes de distribución farmacéutica. Para la dispensación de los productos, un robot manipulador que es movido por dos unidades lineales se sitúa delante del carril con el producto a retirar y procede a su extracción con un mecanismo tipo pinza aplicando distintos algoritmos (Zhi-dan y otros, 2012).

Este manipulador recoge uno por uno los productos pedidos y los deja en una cinta encargada de su transporte hasta el punto de entrega en el mostrador. Este robot realiza un gran número de movimientos ya que tiene que desplazarse a cada carril a recoger los productos. Debido a las altas velocidades alcanzadas por el manipulador, es necesario encerrar el robot, por razones de seguridad y ruido, impidiendo así el acceso a con el fin de evitar posibles accidentes. En caso de avería o fallo, el farmacéutico está muy limitado para acceder a los medicamentos del almacén automático cómodamente, lo que puede ocasionar una interrupción temporal del servicio de farmacia.

Gracias a la disposición inclinada de los estantes, el primer producto almacenado en el robot de dispensación, será el primer producto a dispensar, creando un FIFO (*First In Frist Out*) en la rotación de los productos, y ayudando así a evitar problemas de caducidad de los medicamentos.



*Figura 1.9. Robot manipulador con pinzas para automatización de farmacia.*

Los sistemas de baja rotación, con muchos tipos de productos y pocas unidades de cada tipo almacenados, son los más habituales en las farmacias. También se denominan sistemas automáticos caóticos, ya que emplean un principio de almacenamiento dinámico en el que cada producto de entrada puede ser cargado en cualquier ubicación disponible. El sistema más extendido consiste en estantes horizontales donde los productos son depositados por un manipulador equipado con pinzas. El manipulador sigue siendo un sistema automático con desplazamiento mediante unidades lineales en los tres ejes cartesianos y se encarga de almacenar los medicamentos en cualquier ubicación de almacén y de su posterior recogida y traslado al punto de entrega.

### 1.3 Formulación de la problemática

En los almacenes de distribución farmacéutica y farmacias, sería por lo tanto deseable disponer de un tipo de instalación automática que fuera capaz de dispensar, de forma simultánea y a gran velocidad todos los artículos solicitados por un cliente o pedido, siguiendo las estrategias más modernas de preparación y mediante tecnologías ligeras y eficaces, que faciliten el proceso de instalación y de integración del sistema en la red de comunicaciones de la empresa (Xu, Chongyang y Song, 2013). Además esta instalación debe ser segura ante los operarios, para poder acceder siempre de forma manual al almacén automatizado, sin requisito de stocks de seguridad ante averías y no debe necesitar de gran volumen de espacio, pudiéndose instalar de forma distribuida y modular; con un mantenimiento sencillo y económico, sin necesidad de técnicos altamente cualificados; y ecológica, con un bajo consumo eléctrico y reducido peso (*Institute for Safe Medication Practices*, 2008).

También se identifica la necesidad de una solución tecnológica para la ayuda en los procesos de reposición de artículos que se disponen en los carriles de los sistemas de dispensación automática, que disponga de una instalación sencilla y se encargue de asistir a las personas encargadas de realizar las labores de reposición de los productos en los carriles, de modo que se desplacen de una manera precisa y optimizada para llegar al lugar de la ubicación del artículo o carril que se desee en cada caso.

Este tipo de instalación debería ser configurable a las dimensiones y particularidades de cada tipo de producto y almacén o comercio. Por lo tanto, la arquitectura de control debe ser fácilmente escalable e integrable informáticamente con los distintos programas de gestión de pedidos presentes en almacenes o comercios. La arquitectura debe ser lo suficientemente flexible para gobernar miles de señales de entrada y salida tanto para los procesos de dispensación como

reposición asistida de los carriles y en tiempo real (Ruhle, Braun y Ostermann, 2009).

#### **1.4 Hipótesis**

La hipótesis inicial queda establecida como sigue:

Es posible diseñar e implementar una nueva arquitectura de control basada en tecnologías Web 2.0 y sistemas microelectrónicos avanzados que pueda ser aplicada a la industria de distribución farmacéutica, con ciertas ventajas competitivas sobre las soluciones existentes y manteniendo o aumentando los ratios de productividad y eficiencia de los sistemas de automatización actualmente aplicados.

#### **1.5 Objetivos específicos**

Para la implementación del nuevo paradigma en arquitecturas de control industrial aplicado al sector farmacéutico conforme a la hipótesis inicial, se estableció como requisito no emplear autómatas industriales como elementos principales de control, ya que ello redundaría en el empleo necesario de buses de control industrial y demás sistemas informáticos específicos ya empleados en el estado del arte. Para conseguir esta meta, en esta tesis doctoral se presenta el uso de los sistemas de microservidores como dispositivos de control principales con un diseño innovador en sus características constructivas tanto electrónicas como mecánicas.

Si el empleo de autómatas debe ser evitado, también los sistemas informáticos convencionales, que emplean programas SCADA específicos basados en bases de datos y buses de comunicación propietarios. Para lograr este reto se ha optado por el uso de Ethernet como sistema de comunicación universal para todos los niveles de la arquitectura de control y el uso de tecnologías Web 2.0 para el diseño de los programas generales de control y los programas de supervisión para los usuarios.

La industria de distribución farmacéutica y las farmacias se consideran un entorno óptimo para la validación tecnológica de la nueva arquitectura de control con microservidores debido a que se trata de una industria con unos altos requisitos de control en tiempo real, manejo de miles de señales de entrada y salida y baja tasa de errores admisibles en los procesos. Se ha establecido necesario el desarrollo de prototipos experimentales que permitan evaluar el funcionamiento de la arquitectura de control así como realizar una comparativa con los sistemas de control existentes en el estado del arte actual.

La validación de la hipótesis se despliega en los siguientes objetivos específicos:

- O1. Estudio del estado del arte y análisis exhaustivo de los sistemas de automatización presentes en la industria de distribución farmacéutica. También incluye la recogida de datos experimentales de almacenes y oficinas de farmacia en funcionamiento con sistemas de automatización clásicos para poder realizar comparaciones cuantitativas y cualitativas con la nueva Arquitectura de Control Web 2.0, como es realizado en el Capítulo cuarto.

Es necesario realizar un estudio específico del estado del arte de las patentes aplicadas a la automatización del sector de distribución farmacéutica, y así identificar el grado de innovación de la solución propuesta y el planteamiento de patentes industriales. Dicho análisis es compartido por la tesis y la Oficina de Patentes, ya que a esta última le corresponde determinar oficialmente la innovación del trabajo.

- O2. Implementación de la arquitectura de control y diseño específico del sistema basado en microservidores en base a unas características funcionales innovadoras que permitan su empleo con ratios de productividad óptimos en la industria farmacéutica. Para que la nueva arquitectura de control pueda tener un impacto positivo en la industria en la cual debe ser aplicada experimentalmente, se han establecido otros objetivos importantes que es necesario cumplir en toda la concepción del sistema:
  - La arquitectura debe ser escalable, de forma que permita la implementación progresiva de distintos niveles de automatización, pudiendo ser un sistema que evolucione conforme aumentan las necesidades del cliente o aumenta su capacidad de inversión en mayor automatización de procesos.
  - El consumo eléctrico de los elementos intervinientes en la arquitectura debe ser menor que el consumo eléctrico de las instalaciones con arquitecturas de control tradicionales, alineándose con la tendencia industrial de continua optimización del uso del consumo eléctrico como importante elemento para la competitividad y la sostenibilidad del entorno.
  - La velocidad del sistema para el uso industrial acometido, en este caso la preparación de pedidos farmacéuticos en la industria y farmacias, debe ser al menos tan rápido y eficaz como el permitido por los sistemas de control tradicionales.

## ***1. Objetivo y desarrollo de la presente tesis***

---

- El control de errores debe estar garantizado, de forma que el sistema de preparación automático no cometa errores de forma no controlada y notifique al usuario en tiempo real cualquier anomalía que sea detectada.
- El proceso de instalación y despliegue de la arquitectura de control debe ser simple, sin el uso de cableados o elementos intermedios complejos, facilitando la instalación de la configuración CIM en la empresa.
- El mantenimiento debe ser sencillo y económico, facilitando la detección de averías y los procesos de reparación o sustitución de elementos dañados.
- Debe ser una arquitectura segura para los usuarios y que permita un acceso controlado en caso de necesidad de intervención manual.
- O3. Implementación de los algoritmos de control software y aplicaciones Web que doten a la arquitectura de la capacidad informática suficiente para cumplir con los requisitos de rendimiento necesarios para su uso industrial y para su aplicación a la particular arquitectura de control con microservidores desarrollada.
- O4. Análisis experimental y estudio comparativo del uso de la nueva arquitectura de control en un entorno industrial real, realizando una toma específica de datos de funcionamiento y de uso de la instalación para poder extraer conclusiones operativas. Es necesario contrastar los resultados con los datos de funcionamiento de las instalaciones con sistemas de control clásicos aplicadas al sector farmacéutico.
- O5. Obtención de patentes industriales de los resultados. Dado que se trata de una tesis industrial y que sus resultados pueden ser empleados para el desarrollo de proyectos de automatización para la mejora de la logística de la industria farmacéutica, se ha considerado conveniente la obtención de patentes como objetivo. Dichas patentes además de validar la innovación a nivel internacional en el desarrollo conceptual de las tecnologías y configuraciones de los dispositivos planteados en la tesis, pueden permitir el reparto controlado de licencias de uso industrial a las empresas de ingeniería y automatización interesadas en la aplicación práctica de los resultados y evolución de la tecnología.

## 1.6 Metodología

Se han analizado diversas metodologías de trabajo dado el manejo de los resultados pretendidos en esta tesis industrial como es la consecución de patentes. En base a ello, se ha escogido la Metodología por Actividades al ser uno de los modelos que permiten analizar las innovaciones de manera más precisa (Saren, 1984). La innovación industrial internacional es uno de los requisitos fundamentales a evaluar por las oficinas de patentes en su análisis de la posible concesión. Basado en dicho modelo los pasos de desarrollo de la tesis se han dividido en diversas actividades, algunas de las cuales están realimentadas tras la realización de las experimentaciones y analizar la necesidad de realizar ajustes teóricos en el planteamiento de la arquitectura (King y Anderson, 2003).

Durante todo el desarrollo de las actividades de la metodología seguida para el desarrollo de la tesis doctoral se ha estado en contacto con profesionales de centros de distribución farmacéutica y con farmacéuticos para realizar tanto una recogida de datos a través de entrevistas como una valoración de los distintos pasos llevados a cabo. A su vez las distintas actividades se han visto igualmente influenciadas por el análisis del estado del arte que se ha ido desarrollando de forma continua como es recomendado en este modelo metodológico (Ortt y Smits, 2006).

La Metodología por Actividades incluye una fase inicial de generación de ideas que requiere previamente un profundo análisis del estado del arte y del sector objetivo al que se dirige el estudio o innovación. Tras la fase inicial de generación de ideas hay que desarrollar la fase de conceptualización teórica, en la que se deben asentar los conceptos del desarrollo que van a ser planteados. Posteriormente vienen las fases de experimentación para contrastar los resultados tanto con las técnicas del estado del arte actual como con los propios profesionales del sector a los que se dirige el desarrollo.

Tras superar todas las fases se realiza la publicación de resultados y/o patentes. En el caso de las patentes es necesario desarrollar un estudio industrial específico del análisis del estado del arte de los posibles dispositivos o instalaciones relacionadas con el objeto de la invención así como el diseño de dibujos conceptuales y descripciones específicas para la presentación de dichas patentes que deben ser aprobadas por las oficinas de patentes del país o países al que son destinadas.

En la Fig. 1.10 se presenta el diagrama general de la metodología seguida en la tesis doctoral y adaptada a las actividades específicas que ha requerido. La realimentación se produce desde el final de las fases de experimentación hacia el inicio de las fases de conceptualización teórica.

**1. Objetivo y desarrollo de la presente tesis**

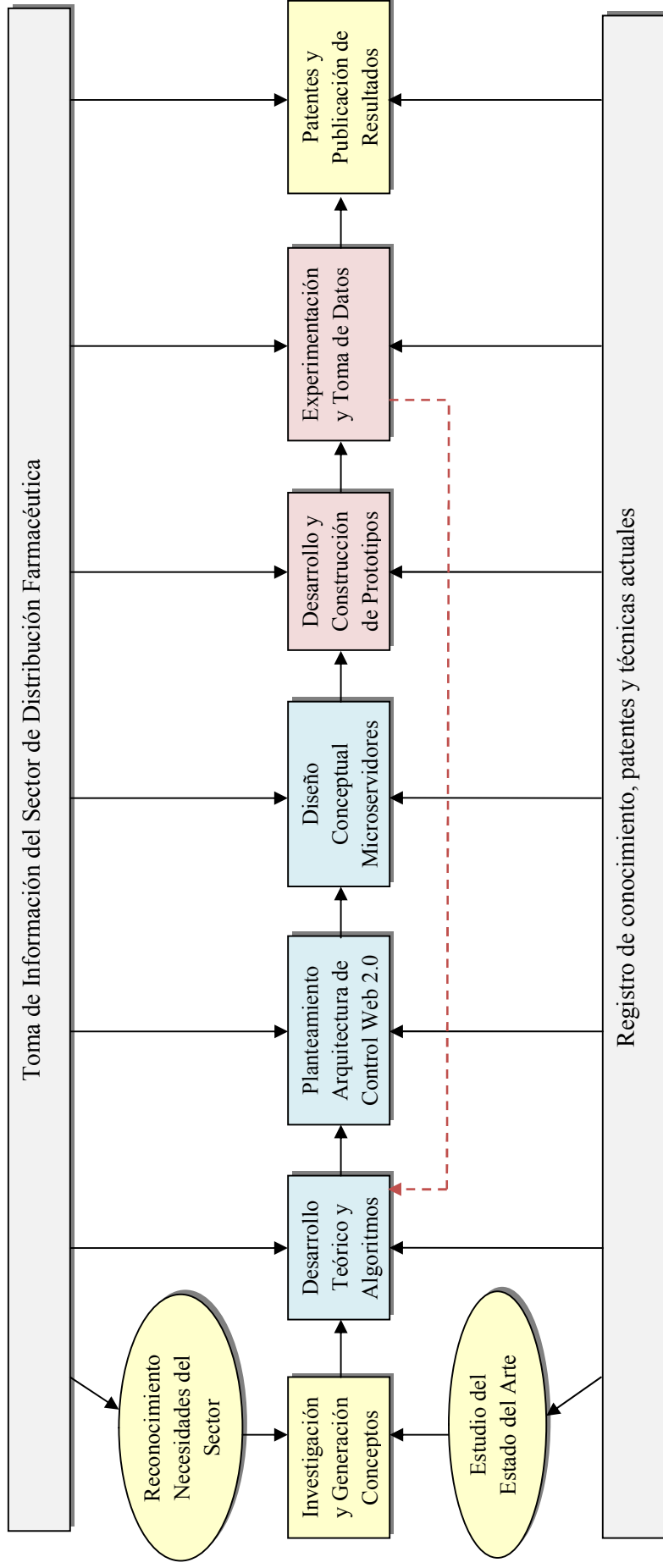


Figura 1.10. Metodología general de trabajo seguido para el desarrollo de la tesis doctoral.

El primer paso en el desarrollo de la tesis tras el conocimiento adquirido durante el desarrollo universitario de los Weblabs y microservidores que son presentados en el Capítulo 2, fue el estudio del estado del arte para analizar la aplicabilidad de los conceptos de los microservidores en un entorno Web 2.0 para el sector industrial. Fue necesario escoger un sector industrial al que dirigir específicamente el desarrollo para poder realizar la experimentación necesaria y contrastar los resultados. La industria de distribución farmacéutica era un entorno muy apropiado, por los altos requisitos de automatización, baja tasa de fallos y alta velocidad de los procesos. La investigación y generación de conceptos base fue también realizada con entrevistas dirigidas a profesionales del sector, contactando con nueve centros de distribución farmacéutica y con doce farmacias, empleando para ello el cuestionario mostrado en la Tabla 1-1.

Tabla 1-1. Cuestionario empleado para la recogida de datos en las entrevistas.

<b>CUESTIONARIO RECOGIDA DE DATOS - AUTOMATIZACION DISTRIBUCION FARMACÉUTICA</b>	
<i>CENTRO DE DISTRIBUCIÓN / FARMACIA:</i>	
<i>NOMBRE Y APELLIDOS:</i>	
<i>CARGO:</i>	<i>FECHA:</i>
<b>RESPONDA A LAS SIGUIENTES CUESTIONES:</b> (1 a 10 pts)	
1. ¿Cuál es su grado de satisfacción con las soluciones de automatización presentes en el mercado para la distribución farmacéutica?	
2. Evalúe la importancia de seguir automatizando su almacén y proceso de preparación de pedidos en un futuro.	
3. ¿Considera importante la velocidad de dispensación y preparación de pedidos del sistema tecnológico?	
4. Indique la necesidad de un sistema tecnológico para la carga y reposición de los medicamentos previo al proceso de dispensación.	
5. ¿Es importante para su negocio el mantenimiento correcto y sincronizado del nivel de Stock de cada producto?	
6. Evalúe la importancia en el control de errores durante la preparación de los pedidos.	
7. ¿Qué importancia tiene el precio a la hora de seleccionar un sistema de automatización para su negocio?	
8. Evalúe la importancia que otorga al consumo energético del sistema de automatización.	
9.Cuál es el grado de exigencia del mantenimiento para el buen funcionamiento de su sistema de automatización actual.	
10. Indique la sencillez (1) o dificultad (10) para la ampliación de su sistema de automatización actual a otras zonas del almacén.	

Tras el desarrollo teórico y la obtención de los algoritmos de control para adquirir las funcionalidades requeridas por el sector farmacéutico se realizó un estudio detallado de los microsistemas para deducir que no existían en el estado del arte sistemas adecuados a las necesidades específicas de la arquitectura planteada en la tesis doctoral. Las posibles aplicaciones industriales del desarrollo que era necesario acometer permitió plantear patentes industriales para la construcción de los microsistemas e involucrar empresas de ingeniería y robótica interesadas en las posibles aplicaciones industriales y como medio de financiación del gasto necesario para la construcción de los prototipos y ejecución de la fase de experimentación.

Acometido el desarrollo de los prototipos de sistemas basados en microsistemas de dispensación y reposición fue necesario acometer la fase de experimentación que ha implicado la construcción completa de una línea de automatización conforme la Arquitectura de Control Web 2.0 en almacenes farmacéuticos. La línea incluye las cintas transportadoras y componentes informáticos para realizar pruebas en producción completas y comparar así los resultados con los sistemas de automatización del estado del arte actual. La línea prototipo se ha instalado en cuatro almacenes para la obtención de resultados, así como en una farmacia.

La puesta en marcha de las líneas para su experimentación ha requerido nuevamente un contacto permanente con los profesionales del sector para la realización de entrevistas y toma de datos sobre el grado de aceptación de la solución y las posibles necesidades que no fueran correctamente cubiertas con el objetivo de realimentar la arquitectura y mejorar los algoritmos. También ha sido necesaria una estrecha colaboración con los departamentos informáticos de los centros de distribución para la integración de las funciones con el ERP de forma que todos los datos de funcionamiento, como pedidos de clientes y niveles de stocks, fueran validados en condiciones reales.

Para el desarrollo de la parte experimental del proyecto se ha decidido emplear una metodología concreta, denominada QFD, debido a sus similitudes con las características del método general empleado en la tesis. Las siglas QFD se refieren a "*Quality Function Development*" e implican estos tres conceptos (Lai-Kow y Ming-Lu, 2007):

- **Calidad:** recibir directamente las necesidades y premisas de los usuarios.
- **Función:** centrar la atención en qué debe hacer el sistema.
- **Desarrollo:** quién lo va a desarrollar y en qué plazo.

La metodología QFD se utiliza para diseñar un producto o un servicio basado en las demandas del cliente e involucra a todos los miembros de la organización y/o

proveedores (Jaiswal, 2012). La metodología QFD se inició en 1972 por parte de la empresa japonesa Mitsubishi. Fue reconocida casi de inmediato como un gran avance y desde entonces, los japoneses han utilizado esta metodología de forma masiva añadiendo mejoras como la inclusión de otras áreas de carácter secundario en el método, como la mejora de las comunicaciones entre los departamentos de diseño y de fabricación, teniendo en cuenta la función del producto, los modos de fallo potenciales, posibles nuevas tecnologías y la reducción de costes.

Tras la obtención de los resultados contrastados con los profesionales del sector se ha procedido a la publicación de la Arquitectura de Control Web 2.0 en revistas especializadas de automatización y control, así como a su presentación en Congresos y Ferias Internacionales. Previo a dichas publicaciones se realizó la solicitud correspondiente de las patentes en las oficinas de patentes nacionales e internacionales.

### **1.6.1 Metodología para la obtención de patentes**

Se considera adecuado explicar la metodología necesaria para la obtención de patentes industriales, por ser una metodología que marca la elaboración de la presente tesis en varios aspectos.

El proceso se inicia con el estudio del estado del arte específico para el tipo de producto o instalación a los que va dirigida la innovación. Tras un profundo conocimiento del estado del arte y analizando de forma preliminar la posible innovación, puede realizarse un análisis preliminar mediante la búsqueda en las páginas Web de patentes que publican a nivel mundial todas las patentes disponibles. Si las expectativas son positivas, es el momento de solicitar un análisis formal de la posible patentabilidad a la que va dirigida la invención a una agencia oficial de solicitud de patentes, que se encarga de realizar una búsqueda técnica y profesional para enmarcar la innovación y su posible patentabilidad. Este paso de búsqueda previo tiene un coste económico y debe realizarse tanto si la patente es nacional como internacional. Para que una innovación pueda ser patentada no solo no debe existir ninguna otra patente que tenga las mismas características o configuración de elementos, sino que tampoco debe existir ninguna publicación en revistas o congresos en las que se muestre una innovación similar. Debe ser por lo tanto una novedad mundial.

En caso de obtener un informe positivo del estudio de patentabilidad por parte de la agencia, hay que proceder a la redacción de la posible patente, la cual tiene unos apartados específicos. Es necesario incluir un primer apartado de análisis del estado del arte en el que se haga referencia a otras patentes con desarrollos orientados a la misma aplicación o con características similares. En los siguientes apartados se realiza la descripción de la invención que debe ir acompañada de

figuras ilustrativas, así como un análisis detallado de dichas figuras en la que se describe de forma precisa los componentes que forman parte de la invención. El último apartado y más importante, son las reivindicaciones que se realizan para la obtención de la patente, haciendo referencia a las características descritas previamente, y en las que debe existir al menos una reivindicación principal y que puede ir acompañada de otras secundarias.

Tras la presentación de la patente hay que esperar el análisis oficial por parte de la agencia de patentes encargada de su evaluación, que puede ser nacional o internacional, en función del tipo de patente presentada, y en el que se concluye si se concede o no la patente, ya que el investigador oficial puede determinar que no existe innovación industrial o encontrar alguna nueva patente que anule las características innovadoras de la solicitud. En caso de obtener una patente nacional, existe un año de privilegio en el que puede extenderse la patente a nivel internacional, pero que requiere en tal caso la repetición de todo el proceso por parte de la agencia internacional de patentes, así como un coste económico mucho mayor. Es por tanto evidente que la metodología del presente trabajo está condicionada no solo por la propia investigación sino también y de forma clara por la Oficina de Patentes, garantista y supervisora de este proceso.

En el desarrollo de la tesis se ha optado por la obtención en un primer paso de las patentes nacionales, obteniendo tres patentes, una para el sistema de dispensación y dos para el sistema de reposicionamiento, ambos objetivos específicos y fundamentales de la tesis. En una segunda fase se ha optado por repetir el proceso de patentabilidad de la primera de dichas patentes a nivel internacional, aprovechando el tiempo de un año de concesión de prioridad para la realización de dicha ampliación de patente nacional a mundial. Los exámenes internacionales fueron igualmente positivos obteniendo la patente internacional del sistema de dispensación ideado en la tesis.

### **1.7 Estructura de la tesis**

La tesis doctoral está organizada en cinco capítulos principales. Se incluye un apartado de glosario, un capítulo bibliográfico y un Anexo con las patentes industriales obtenidas. En el presente capítulo se ha descrito el escenario, los objetivos y la metodología de trabajo aplicada en el desarrollo de la tesis.

El Capítulo 2 titulado “Estado del arte: antecedentes históricos” contiene una descripción del estado del arte y antecedentes teóricos de las diversas teorías y elementos tecnológicos que intervienen en el desarrollo de los sistemas de control actuales y en particular en su aplicación a los sistemas de control con aplicabilidad para la industria farmacéutica. También se presenta el estado del arte de las

distintas tecnologías que forman parte de la arquitectura de control que es implementada en la tesis.

El Capítulo 3 titulado “Diseño de la Arquitectura de Control Web 2.0 y algoritmos”, recoge el desarrollo teórico de la tesis en el que se presenta la arquitectura de control desarrollada y sus fundamentos matemáticos para su aplicación con los objetivos dispuestos en este apartado. También se presenta el desarrollo de los sistemas basados en microservidores específicos que ha sido necesario implementar para la aplicación de la arquitectura de control en las aplicaciones de dispensación y reposicionamiento de la industria farmacéutica y farmacias.

Este desarrollo es la base para establecer los componentes y su configuración original para la obtención de una solución innovadora mundial que pueda ser reivindicada a través de patentes, tanto para el sistema de dispensación como de reposicionamiento, componentes claves de la arquitectura.

El Capítulo 4 titulado “Implementación y validación de la Arquitectura de Control Web 2.0” muestra los datos experimentales recogidos como resultado de la implementación práctica del sistema y su aplicación en procesos de control reales, así como una presentación de resultados realizando una comparativa con las mediciones realizadas con los sistemas de control tradicionales a los que se ha tenido acceso para poder realizar este estudio.

El Capítulo 5 titulado “Conclusiones y principales aportaciones” presenta las conclusiones tras la realización del desarrollo teórico y experimentación práctica, así como los resultados de la obtención de patentes. También se presentan los futuros caminos de investigación que se pueden abordar como continuación del trabajo de esta tesis.

La memoria incluye un apartado bibliográfico, un glosario de términos y un anexo en el que se incluyen las patentes originales desarrolladas a partir de los principios teóricos de la tesis doctoral.



## Capítulo

# 2

## Estado del arte: antecedentes teóricos

**E**ste capítulo presenta el análisis del estado del arte de los sistemas de control y de las soluciones de automatización para almacenes de distribución farmacéutica y farmacias. Está dividido en dividido en ocho secciones, que a su vez pueden agruparse en dos partes.

La primera parte del capítulo, secciones 2.1 a 2.5, aborda el análisis del estado del arte de los sistemas de control, el cual es un conocimiento básico y común para todos los estudios de automatización. En dichos capítulos se presta mayor relevancia a aquellos elementos que comparativamente serán contrastados con el posterior desarrollo teórico de la tesis. En orden de aparición estos capítulos explican los conceptos fundamentales de los sistemas de control, los tipos de controladores, las redes de comunicación, las aplicaciones informáticas SCADA y las tecnologías Web 2.0. La última sección, Apartado 2.5, concluye con el análisis de los laboratorios remotos o Weblabs por ser una importante área de investigación con microservidores en el entorno académico. Los microservidores serán uno de los componentes clave de la tesis, ya que van a ser evolucionados desde su uso en el entorno académico hacia las exigencias de los entornos industriales y enmarcados en una arquitectura de control.

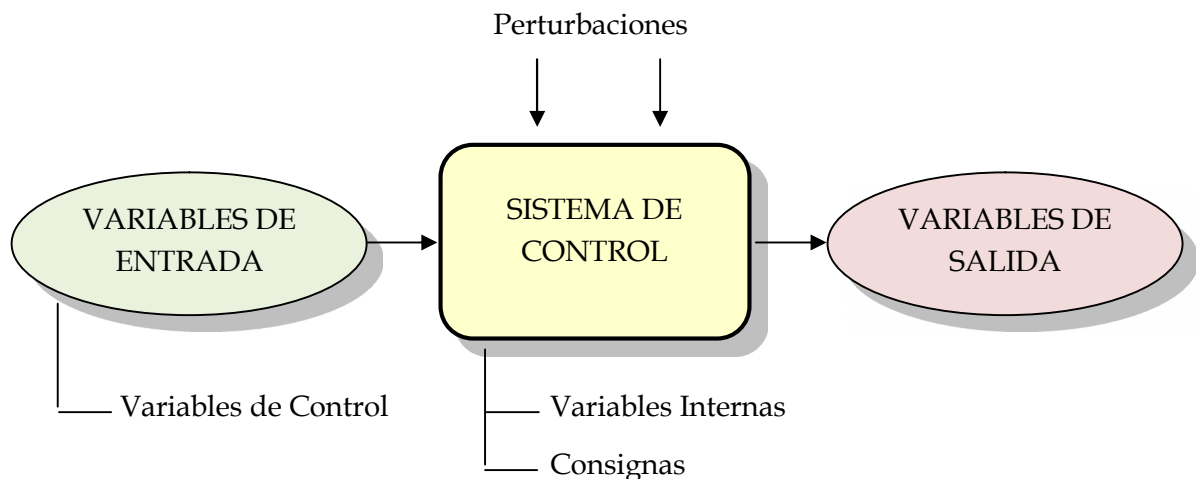
La segunda parte del capítulo, apartados 2.6 a 2.8, analiza el estado del arte de la automatización de la distribución farmacéutica y farmacias. En el Apartado 2.6 se presentan los sistemas actuales que están siendo implementados en dichos entornos así como las soluciones presentes para el reposicionamiento de los productos

farmacéuticos en los dispensadores, al ser una problemática que va a ser acometida en su conjunto en el desarrollo teórico de la arquitectura de control y algoritmos de la tesis. El Apartado 2.7 analiza de forma específica las patentes existentes que puedan tener cierta relevancia con las innovaciones de la tesis y en el Apartado 2.8 los retos tecnológicos y funcionales de la robótica farmacéutica para su modernización e implantación en los próximos años. El Apartado 2.9 presenta el resumen del capítulo.

### **2.1 Conceptos fundamentales de sistemas de control**

Para situar la aportación de la tesis que desarrolla un concepto nuevo y moderno de la arquitectura de un sistema de control empleando tecnologías Web 2.0, se inicia el análisis del estado del arte partiendo de una definición elemental: el sistema de control industrial. En esencia consiste en un ente que recibe variables de entrada (acciones externas) y que genera variables de salida en función de un determinado algoritmo de control y de unas variables internas o estados (Bolzern y Scattolini, 2009).

Las variables de entrada pueden ser variables de control o perturbaciones, no siendo posible realizar acciones de control sobre las segundas. El objetivo de un sistema de control industrial (Norman, 2002) es conseguir mediante la lectura o manipulación de las variables de control un dominio sobre las variables de salida aplicando el algoritmo de control, de forma que éstas alcancen unos determinados valores deseados, llamados habitualmente consignas.



*Figura 2.1. Concepto elemental de Sistema de Control Industrial*

Existe una gran variedad de sistemas de control, tantos como posibles aplicaciones puedan darse a los mismos. A nivel general, existen unos objetivos comunes que todo sistema de control debiera cumplir para ser considerado adecuado:

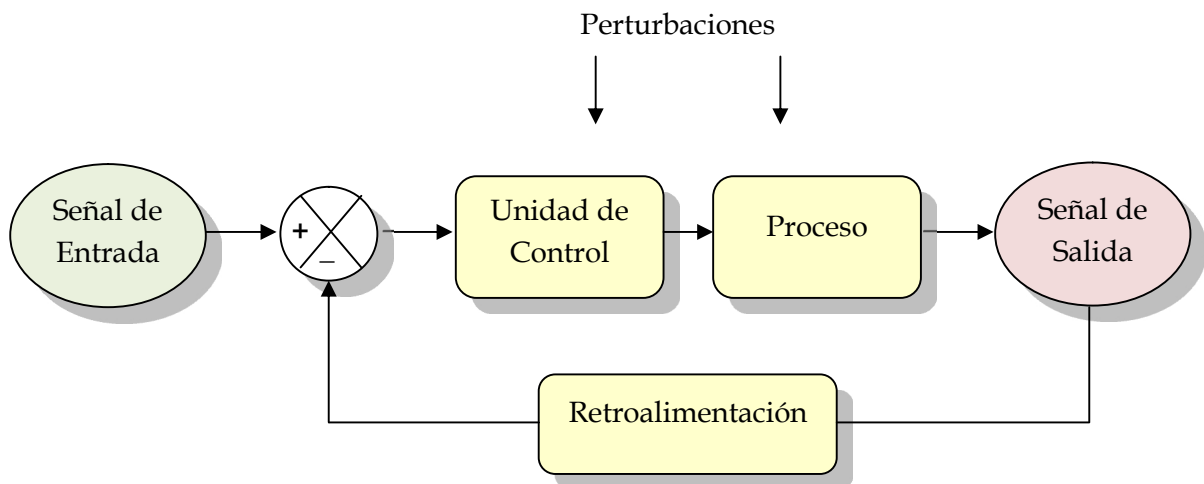
- Robustez y estabilidad, es decir, conseguir el objetivo de control de forma eficiente minimizando los errores que pudieran cometerse por la influencia de perturbaciones.
- Eficiencia máxima según el criterio de control preestablecido.
- Operación en tiempo real ante la lectura de entradas y actuación sobre las salidas.
- Sencilla implementación en la planta industrial y facilidad de intercomunicación con otros procesos de control industriales.

Definidos los conceptos básicos y los objetivos del sistema de control industrial también es necesario conocer cuáles son los elementos básicos que en él intervienen para poder conceptualizar correctamente una arquitectura de control industrial. Aunque los procesos de control pueden ser muy variados, los elementos básicos que forman parte de un sistema de control industrial son (Hernández, 2010):

- **Sensores:** son los elementos captadores de las variables de entrada para el sistema, denominadas variables de control. Pueden ser de distinta naturaleza y habitualmente requieren un circuito de acondicionamiento para su conexión al controlador. También hay que señalar que los sensores y su cableado pueden ser fuentes de perturbaciones de entrada.
- **Controlador:** es el dispositivo que contiene el algoritmo de control y que en función de los valores de control recibidos por los sensores y las consignas impuestas calcula la acción a realizar para modificar las variables de control.
- **Actuadores:** son los dispositivos electrónicos o mecánicos que ejecutan la acción calculada por el controlador, lo cual a su vez modifica las variables de entrada o de control. Del mismo modo que los sensores, éstos suelen requerir circuitos de acondicionamiento para adecuar las salidas del controlador a los requisitos físicos del dispositivo actuador.
- **Supervisor:** este elemento es opcional en el concepto elemental de sistema de control industrial pero en la práctica resulta imprescindible. Se trata del dispositivo encargado de monitorizar el estado del sistema, mostrando los valores de las variables de entrada, salida, consignas, etc.

Un aspecto clave del sistema de control industrial es la estrategia de control (Katshuhiko, 2003), que hace referencia a la relación existente entre las variables de entrada y las variables de salida. Existen dos tipos de estrategias en función de la naturaleza de la información utilizada para calcular la acción de control:

- **Lazo abierto:** con esta estrategia la acción de control calculada por el controlador se calcula a través de la dinámica del sistema, las consignas de control y estimando las perturbaciones. Esta estrategia de control es la más antigua y sencilla, y en el estado del arte actual se considera insuficiente debido a los errores inherentes a las perturbaciones ya que solo pueden ser estimadas.
- **Lazo cerrado:** en este caso la acción de control se calcula en base al error medido entre la variable controlada de entrada y la consigna deseada. Mediante esta estrategia, se considera el efecto de las posibles perturbaciones sobre las variables de salida, haciendo el sistema mucho más estable. Prácticamente la totalidad de los sistemas de control industriales desarrollados actualmente presentan la estrategia de lazo cerrado.



*Figura 2.2. Estrategia de control en lazo cerrado*

### **2.1.1 Naturaleza de los controladores**

Se ha destacado que la estrategia de control aceptada en el arte actual de los sistemas de control es el lazo cerrado, pero desde el punto de vista de la arquitectura de un sistema, es importante analizar la naturaleza del controlador que realiza este algoritmo de control. Los primeros controladores industriales eran de naturaleza analógica y se caracterizan por la capacidad de procesar las variables en función de un tiempo continuo. Estos sistemas tienen en cambio desventajas, como su difícil reprogramación y ajuste (Piedrafita, 2004).

Debido a la gran evolución electrónica e informática de las últimas décadas ha cambiado completamente el paradigma de la naturaleza del controlador, ya que actualmente la inmensa mayoría son de tipo digital. Estos controladores son fácilmente reprogramables y ajustables a una gran variedad de aplicaciones. Su desventaja respecto a los analógicos consiste en que no manejan las variables de forma continua, sino en unos instantes concretos, función del denominado reloj del sistema. Sin embargo, sus ventajas son múltiples como una menor susceptibilidad al deterioro debido al transcurso del tiempo, mayor inmunidad ante cambios de factores del entorno, menor captación de ruidos y vibraciones externas, mayor flexibilidad de programación o mejor sensibilidad frente a la variación de los parámetros.

El supuesto punto débil de la tecnología de control digital, su incapacidad de procesamiento en tiempo continuo, también se haya notablemente compensada en el estado del arte actual, debido a la continua evolución de la capacidad de cálculo y velocidad de procesamiento de los procesadores (Valdivia, 2012). También hay que destacar que los procesadores digitales necesitan emplear convertidores analógico-digitales y digitales-analógicos para poder capturar las señales analógicas de entrada procedentes de los sensores y enviar señales analógicas hacia los actuadores. Estos dispositivos convertidores también disponen de gran resolución, velocidad y precisión, siendo elementos que prácticamente no incluyen ningún tipo de error adicional a los sistemas de control.

Otra ventaja de los sistemas digitales es su capacidad de procesamiento multivariable. Los controladores analógicos son habitualmente monovariantes, es decir trabajan con una única variable de entrada y una única variable de salida. Para los sistemas que requieren el procesamiento de varias señales, los controladores analógicos suelen dividirse en subsistemas, cada uno de ellos con un comportamiento monovariante. Los controladores digitales pueden procesar fácilmente varias variables de entrada y de salida, es decir, sistemas vectoriales, lo que aporta una gran ventaja desde el punto de vista constructivo del controlador.

El aspecto de la naturaleza digital de los controladores tiene una importante consideración desde el punto de vista de la arquitectura de los sistemas digitales. Como posteriormente es analizado en el apartado acerca de la arquitectura de los sistemas de control, los controladores digitales aportan otras funcionalidades muy importantes además del propio procesamiento digital, como la capacidad de interconectarse en redes de comunicación industriales que permiten crear sistemas de control mucho más avanzados (Ali y otros, 2012).

### **2.1.2 Configuraciones de los sistemas de control**

Los sistemas de control pueden clasificarse conforme a diversos aspectos, como la naturaleza de los dispositivos (mecánicos o electrónicos), la naturaleza de los controladores (analógicos o digitales) o incluso el tipo de algoritmos de control aplicado, pero la clasificación más importante de todas las que pueden realizarse tiene que ver con la configuración del sistema de control.

La configuración de los sistemas de control analiza la relación que existe entre la ubicación del controlador respecto a las variables controladas y los actuadores, la relación que existe entre los diversos controladores, y la relación entre los controladores y otros dispositivos de supervisión. Las arquitecturas de control más modernas, llegan a integrar en el propio esquema la relación entre toda la red de controladores y otros niveles más elevados de la planta industrial como los de planificación y gestión empresarial (Aquilino, 2008). Las configuraciones básicas de control son:

- **Control centralizado:** existe un único controlador que gobierna todo el proceso. Es la configuración más sencilla y la más limitada puesto que si falla el dispositivo de control todo el proceso es detenido.
- **Control multicapa:** con esta configuración el proceso de control se divide en varios subprocesos, cada uno de los cuales está gobernado por un controlador. Existe un nivel superior denominado nivel de supervisión, encargado de comprobar el correcto funcionamiento de los niveles de control inferiores.
- **Control distribuido:** es una de las configuraciones de control más empleadas actualmente. Existen varias unidades de control iguales capaces de controlar los diversos procesos de la planta industrial. Estas unidades de control se encuentran comunicadas entre sí de modo que pueden repartirse el trabajo y si alguna falla, el resto encargarse del control sin que se viera afectada la planta. En esta arquitectura existe también un nivel superior de supervisión encargado de monitorizar a los controladores.
- **Control CIM** (*Computer Integrated Manufacturing*): esta configuración además de integrar el propio nivel de control con una configuración de control distribuido o multicapa, integra otros niveles como gestión empresarial, planificación, productividad o calidad. Todos los niveles se encuentran interconectados pudiendo recibir o enviar información (Venkatraman, 2012).

De los cuatro tipos de configuraciones de control descritas, la más moderna y completa desde el punto de vista del estado del arte es el entorno CIM. Esta configuración contempla un sistema de control totalmente integrado con otros

## 2.1. Conceptos fundamentales de sistemas de control

niveles superiores de la empresa, consiguiendo diversas ventajas respecto a las arquitecturas tradicionales (Alavudeen, 2008):

- Automatización completa del sistema de fabricación (desde el sistema de gestión hasta el de control).
- Centralización de toda la información, estando disponible en distintos niveles de la empresa.
- Flexibilidad de la instalación ante cambios de procesos productivos.
- Minimización de costes debidos a intercambios de información entre los diversos estratos de la empresa.
- Facilidad para realizar rápidos cambios en el proceso de producción desde los niveles superiores de la empresa.

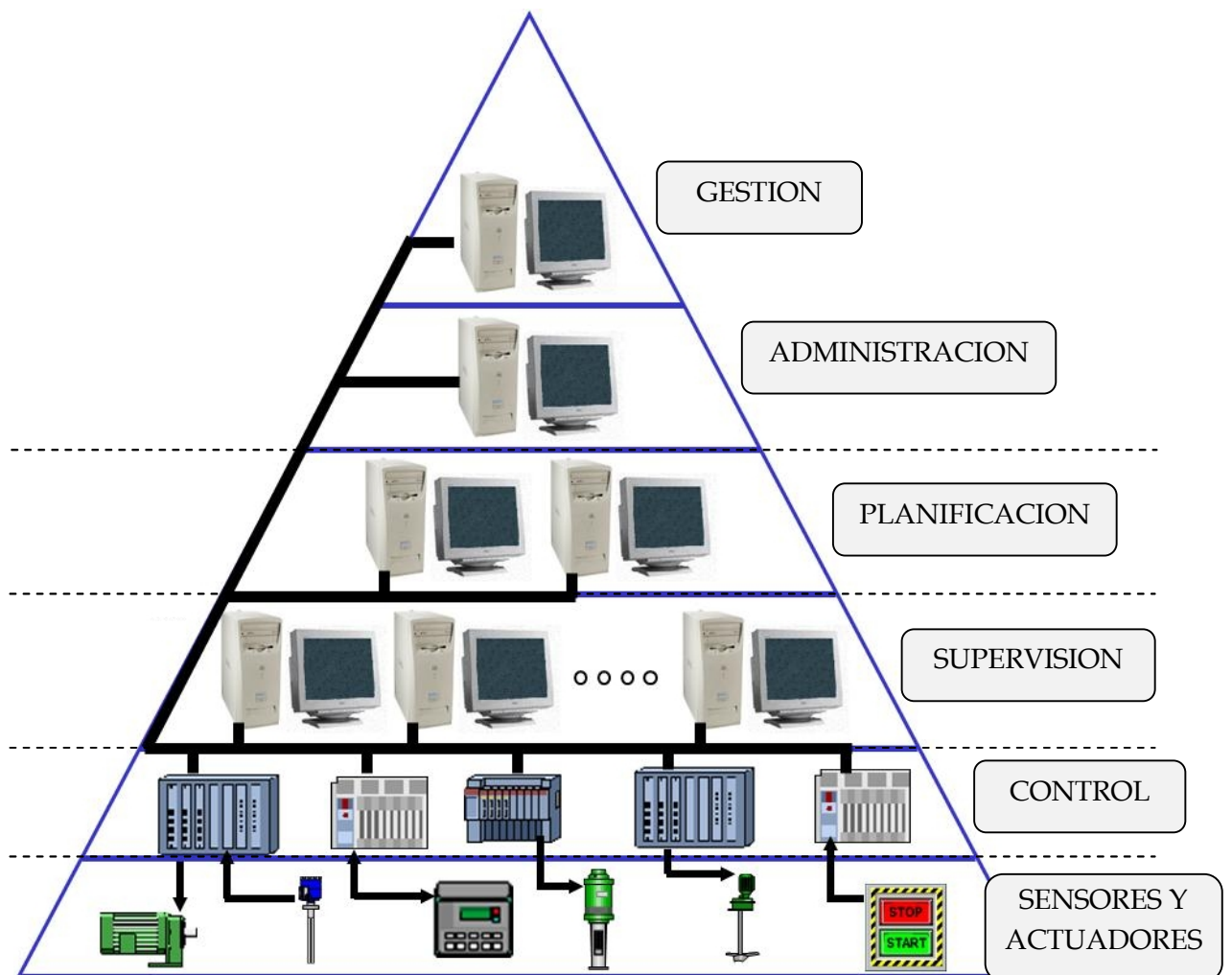


Figura 2.3. Configuración de Sistema de Control CIM en varios niveles

En la configuración CIM debe existir un intercambio de información desde los niveles más altos a los más bajos de la planta industrial, y además la información en cada nivel también deberá ser horizontal. Por esta razón en el entorno CIM el intercambio de información es horizontal y vertical. Los niveles básicos que se distinguen en la configuración CIM son:

- **Nivel 0:** en este nivel se encuentran los sensores (variables de control), los actuadores y máquinas o elementos productivos.
- **Nivel 1:** es el nivel en el que aparecen los controladores industriales, encargados de actuar sobre el nivel de proceso conforme al algoritmo de control. Habitualmente en este nivel se encuentran autómatas programables equipados con tarjetas de instrumentación.
- **Nivel 2:** nivel de supervisión, realizado por uno o varios computadores encargados de la adquisición de datos de los controladores, gestión de alarmas y monitorización de parámetros.
- **Nivel 3:** nivel de planificación en el que se realiza el control de la producción, la gestión del mantenimiento y el control de la calidad.
- **Nivel 4:** nivel de administración y gestión empresarial, encargado de la ingeniería del producto, el marketing y los recursos humanos.

El concepto de configuración CIM es idóneo desde los puntos de vista de la automatización total de una empresa y del máximo rendimiento de las instalaciones. Sin embargo, también cabe destacar que la implantación de una configuración como esta resulta muy compleja en la práctica debido a la gran diversidad de autómatas y protocolos de comunicación existentes en el mercado y que es necesario intercomunicar dentro de una misma organización, lo que conlleva un gran coste y dificultad técnica (Panetto y Cecil, 2013).

Una de las aportaciones de esta tesis es la concepción de una arquitectura de control que facilite la instalación de la configuración CIM en una empresa, minimizando los costes y reduciendo al máximo las dificultades técnicas y sin pérdida de prestaciones, empleando un único bus de comunicación en todos los niveles de la organización y mediante el uso de tecnologías Web 2.0 para su interacción.

### **2.2 Tipos de controladores**

Dentro de la configuración de un sistema de control, uno de los elementos más importantes es el controlador (Gupta y Sharma, 2005). En el estado del arte actual estos dispositivos son de naturaleza digital, con capacidades de programación y comunicaciones. En la industria el controlador más utilizado es el Autómata

Programable Industrial, conocido habitualmente por las siglas PLC (*Programmable Logic Controller*), y en la que destacan fabricantes como Siemens, Allen-Bradley u Omron. A modo de ejemplo, esta última compañía factura más de 5.000 millones de euros con la venta de este tipo de dispositivos de control, licencias software y su consultoría (Omron, 2014).

Los autómatas se encuentran presentes prácticamente en la mayoría de las aplicaciones industriales, pero no son utilizados en la arquitectura de control presentada en esta tesis. El microcontrolador es un dispositivo de control más moderno pero también requiere un uso más especializado, puesto que se trata de un único chip que contiene en su interior todas las características propias de un computador a pequeña escala, y debe ser integrado dentro de una tarjeta electrónica específica para que tenga uso industrial, lo que implica una tarea de diseño hardware además del desarrollo software propio de la aplicación.

También se describe el ordenador industrial como tercer elemento de control más habitual en las aplicaciones industriales. Es un tipo de PC con un hardware y características físicas específicas para ser sometido a unas condiciones de funcionamiento muy exigentes. El sistema operativo utilizado en los ordenadores industriales también difiere de los programas que son empleados por los ordenadores convencionales.

### 2.2.1 *El Autómata Programable Industrial (PLC)*

Este dispositivo fue creado a comienzos de los años setenta como un elemento de control más moderno y evolucionado que los cuadros de control cableados empleados en la época. El autómata al tener capacidad de almacenamiento de programa y de variables, ejecuta en su interior el algoritmo de control, lo que reduce enormemente el cableado de los cuadros de control y aumenta la flexibilidad de la instalación, al ser mucho más sencillo el cambio del programa en el interior del autómata que el recableado del cuadro eléctrico (Mandado y otros, 2009).

#### 2.2.1.1 *Componentes de un PLC*

Desde sus orígenes los autómatas industriales han ido evolucionando hacia unas características generales presentes en la mayoría de los autómatas comerciales presentes en el mercado. Dicha configuración estándar se basa en los siguientes componentes:

- **CPU programable:** el núcleo del autómata es un procesador programable capaz de almacenar y ejecutar programas. Ejecuta el algoritmo de control de la aplicación.
- **Módulo de entradas y salidas:** son módulos cuyo número es variable en función de la aplicación y se insertan en el autómata para que la CPU pueda

proceder a la lectura de señales de entrada y a la generación de señales de salida adecuados a los niveles estándares de tensión empleados por los sensores y actuadores.

- **Fuente de alimentación:** es el componente encargado de la alimentación de los circuitos electrónicos del autómata. Funciona a partir de tensiones de alimentación de red estándar, es decir, 220 V 50 Hz o 110 V 60 Hz. En muchas aplicaciones, los sensores y algunos actuadores que son gobernados por el autómata, reciben su tensión de alimentación a través de la propia fuente del PLC.
- **Chasis:** los autómatas industriales están mecánicamente preparados para su montaje en carriles DIN, que es el estándar de los cuadros de control. El chasis del autómata dispone de una tarjeta denominada *backplane* que permite la inserción de módulos adicionales, que pueden ser utilizados para ampliar el número de entradas y de salidas o para módulos específicos, como entradas de naturaleza analógica.
- **Módulo de comunicación:** los autómatas modernos necesitan transmitir la información del proceso de control en tiempo real hacia el sistema informático que se encarga de la captura y almacenamiento de la información. Para ello, se emplea una red de comunicación industrial, cuyo protocolo y características dependen habitualmente del fabricante del autómata.

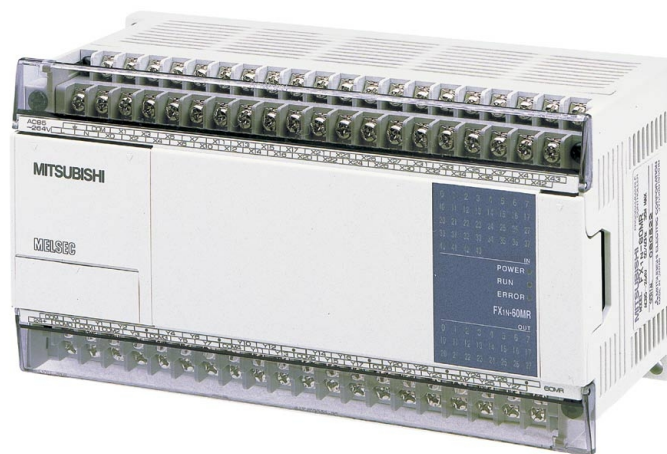


Figura 2.4. Autómata Programable Industrial (PLC) del fabricante Mitsubishi (Mitsubishi, 2014).

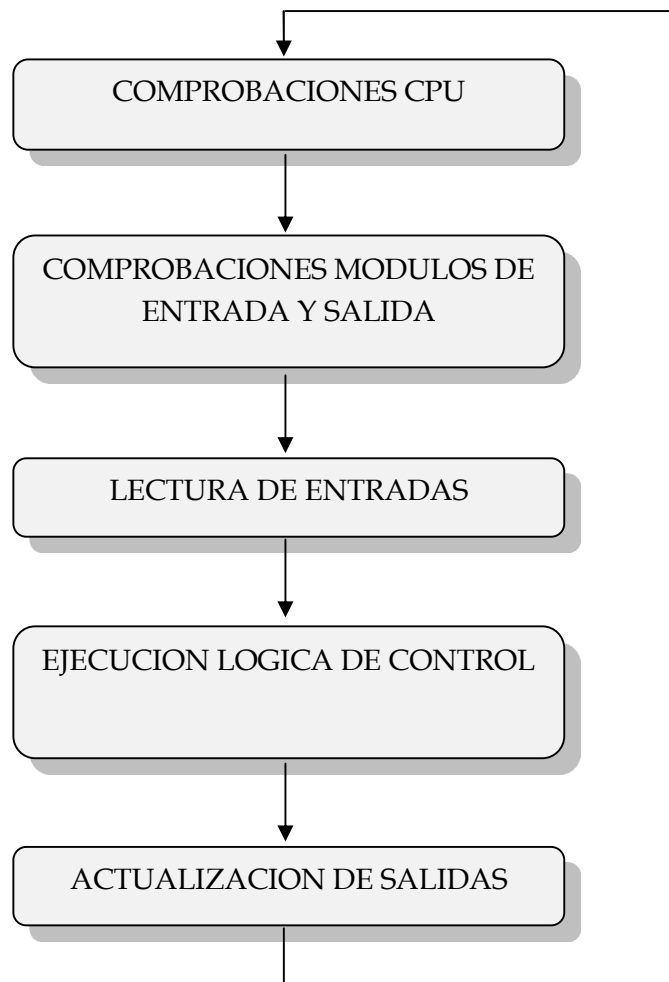
### 2.2.1.2 Programación del PLC

Los autómatas industriales tienen un modo de trabajo que se basa en una programación escalonada (Hackworth, 2003), básicamente responde a sentencias del tipo SI - ENTONCES / (IF - THEN), que es el modo de control clásico de los

cuadros industriales cableados. A cada entrada o combinación lógica de determinadas entradas se le puede asociar un determinado cambio sobre algunas de las salidas.

Esta programación se realiza habitualmente a través de un software específico de cada fabricante de autómatas que permite configurar estas condiciones de forma gráfica. Otra alternativa es el uso de ciertos lenguajes de programación.

Una vez completado el programa de un autómata, podemos determinar el denominado ciclo de scan del proceso. Esto es algo inherente a la realización de sistemas de control con autómatas industriales. El ciclo de scan determina el tiempo que tarda el autómata en realizar la actualización de las salidas en base a la lectura de las entradas y la ejecución de las sentencias lógicas programadas. El ciclo de scan determina la velocidad de reacción de nuestro sistema y es uno de los factores determinantes para realizar un correcto control de cada aplicación industrial.



*Figura 2.5. El ciclo de scan del autómata determina la velocidad de respuesta del sistema de control industrial para cada aplicación desarrollada.*

### **2.2.2 Microcontrolador**

Los microcontroladores son circuitos integrados que contienen todas las características habituales para el desarrollo de un sistema de control programable (Angulo y otros, 2006). Esto implica la presencia de una CPU, memoria de programa, memoria de datos, módulos de entradas y salidas y buses de comunicación. La aparición de los microcontroladores ha facilitado el desarrollo de sistemas electrónicos de control, ya que la alternativa es el uso de arquitecturas basadas en microprocesador, que requieren el empleo de bastantes más elementos. En estos sistemas, el microprocesador contiene la unidad aritmético/lógica y se comunica a través de buses con el resto de chips como las memorias de datos y programa, módulos de control de entradas y salidas, etc.

Gracias a un microcontrolador, en un solo chip disponemos de todas estas funcionalidades integradas (Ristov y otros, 2014). Los microcontroladores se pueden programar en lenguaje ensamblador, o para aplicaciones más complejas pueden utilizarse un lenguaje de alto nivel como el C o el Python. Los microcontroladores modernos tienen memoria de programa de tipo Flash, que puede escribirse y borrarse eléctricamente varios miles de veces, e incluso permiten su reprogramación en circuito, una vez que están insertados y soldados en la tarjeta electrónica. Otra característica a destacar de los microcontroladores más modernos consiste en el empleo de capacidades integradas para la depuración en circuito de las aplicaciones, lo que facilita enormemente el trabajo al desarrollador.

Una característica interesante de la arquitectura de los microcontroladores es la capacidad de uso de interrupciones (Clercq y otros, 2014), tanto procedentes de procesos internos, como el desbordamiento de un temporizador, como de eventos externos, como la aparición de una señal en un determinado pin de entrada o la llegada de un nuevo mensaje a través de un bus de comunicación. La interrupción permite que el programa general sea interrumpido, y se ejecute instantáneamente una determinada función. Esto facilita la sincronización en tiempo real del microcontrolador con su entorno y reduce el tiempo de respuesta.

A nivel de buses de comunicación del microcontrolador, hay que distinguir aquellos buses destinados a la comunicación dentro de la propia tarjeta electrónica (comunicación interna) con los buses utilizados para la comunicación con otros equipos o dispositivos externos. Los buses internos, denominados habitualmente buses de expansión, sirven para que el microcontrolador utilice periféricos adicionales (Mikhaylov y Tervonen, 2012) como circuitos integrados de tipo reloj, controladores de pantallas, etc. Los buses más empleados son el I<sup>2</sup>C y el SPI. A nivel de bus de comunicación externo, el tipo utilizado varía en función del modelo de microcontrolador, pero los más habituales son el bus serie tipo RS232, y el bus CAN.

La desventaja del empleo de microcontroladores radica en que son arquitecturas cerradas, es decir, no se puede ampliar la capacidad de memoria o de almacenamiento de datos de un determinado microcontrolador previamente seleccionado (Ajit, 2011). Las arquitecturas basadas en microprocesadores sí pueden ampliar dinámicamente sus necesidades de memoria de datos o de programa, en cambio las arquitecturas con microcontroladores son cerradas, de aquí la importancia de la correcta selección del microcontrolador apropiado antes de iniciar cada diseño.

Otra dificultad para la aplicación de los microcontroladores a nivel industrial radica en que sus niveles de tensión de funcionamiento no son los adecuados para los entornos industriales, es necesario el diseño de una tarjeta de circuito impreso que acondicione el sistema de alimentación y los niveles de tensión de las señales externas para que puedan ser utilizadas por este chip.

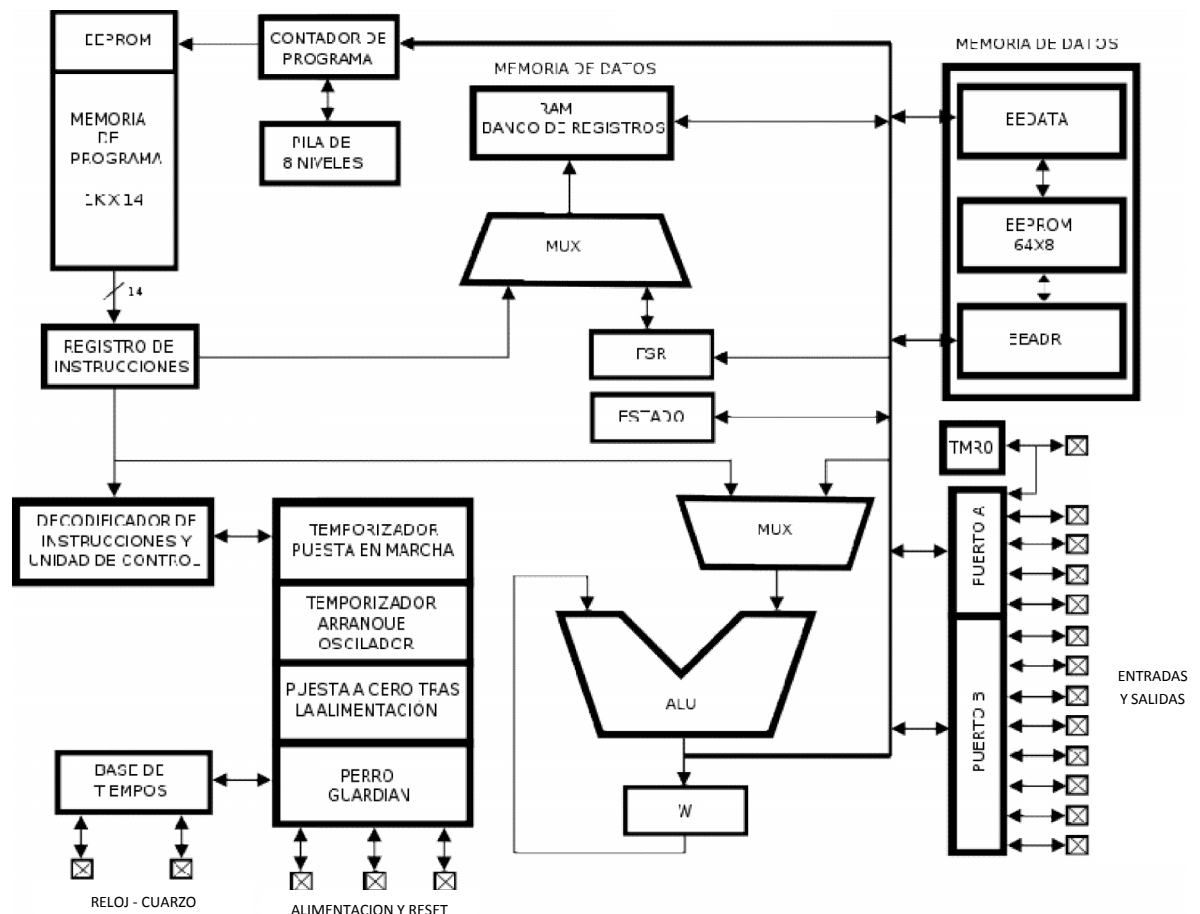
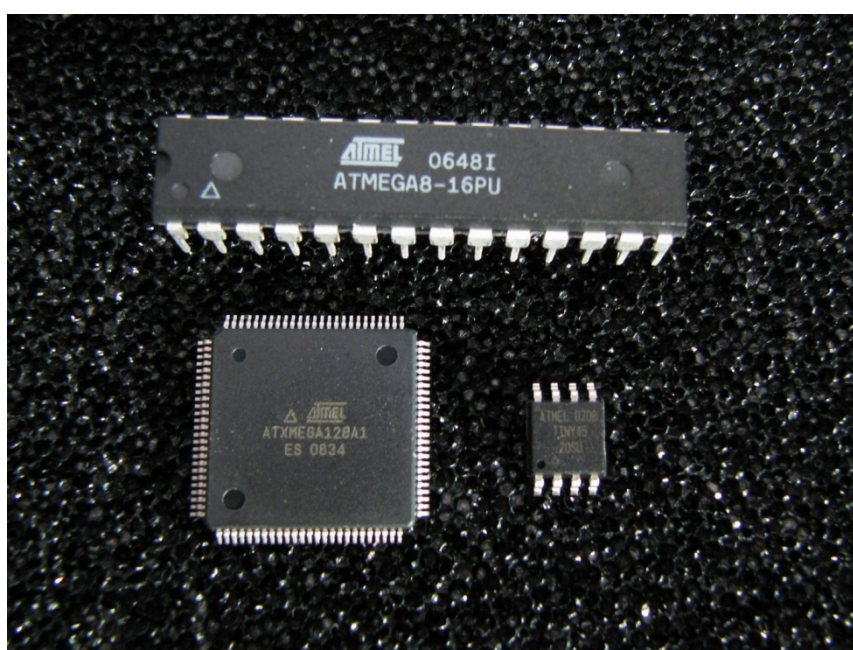


Figura 2.6. Arquitectura interna de un microcontrolador. Integra en un único chip todos los elementos básicos de un computador.

## ***2. Estado del arte: antecedentes teóricos***

---

Los microcontroladores se usan en multitud de sectores, tanto en la industria como en las telecomunicaciones, electrodomésticos o vehículos. En el año 2014 el volumen total de negocio por venta de microcontroladores ascendió a 18.600 millones de dólares (IC insights, 2015) y se prevé una tasa de crecimiento anual del 7,9% para los próximos cinco años, llegando a las 27.300 millones de dólares en el año 2019. Dado que el precio promedio de los microcontroladores se sitúa por debajo del dólar, la cantidad de millones de circuitos integrados comercializados es aún mayor que la cifra de ventas, lo que denota la amplia implantación de estos dispositivos en los circuitos electrónicos de control.



*Figura 2.7. Los microcontroladores se encuentran en distintos encapsulados y capacidades, todos los fabricantes tienen gamas muy extensas.*

Entre los principales fabricantes de microcontroladores a nivel mundial, podemos destacar las siguientes compañías: Atmel, Microchip, Freescale, Intel Corporation, National Semiconductor, Philips y Texas Instruments. Todas estas compañías ofrecen al consumidor una gama amplia de dispositivos con diferentes características de procesamiento, manejo de señales y memorias, dado que un microcontrolador al ser un entorno cerrado debe poder ser escogido con exactitud al diseño para el que es acometido. Otra industria relacionada con este mercado está compuesta por las empresas diseñadoras de lenguajes de programación y herramientas hardware de depuración que faciliten a los usuarios el manejo de los microcontroladores y su integración en los proyectos de electrónica.

### 2.2.3 PC Industrial

Un ordenador industrial es un tipo de de PC específicamente desarrollado para ejecutar en él procesos de control (Wilson, 2002). Para comunicarse con dispositivos de entrada y de salida puede emplear buses de comunicación específicos o tarjetas de adquisición de datos que se conectan directamente a la placa base del ordenador. En un PC industrial los componentes utilizados en su construcción son de norma industrial, a diferencia de un ordenador doméstico que emplea componentes de grado comercial.



Figura 2.8. Los PC industriales destacan por su robustez frente a los computadores convencionales.

Los dispositivos de norma industrial tienen mayor duración, mejor calidad y mayor robustez que los componentes comerciales habituales, así como un precio más elevado. Están contruidos para soportar entornos poco amigables, con rangos altos de temperaturas, ambientes polvorientos e incluso condiciones húmedas (Chen, 2010). La vida útil de un PC industrial es bastante elevada, no suelen ser reemplazados por ordenadores más modernos tan a menudo como los computadores fabricados con componentes comerciales.

Este aspecto es importante desde el punto de vista industrial, porque proporciona una buena duración para cada solución tecnológica desarrollada y capacidad de repetibilidad a largo plazo del proceso, por lo que el mismo modelo puede estar disponible para su implementación durante mucho más tiempo. Los ordenadores industriales que ejecutan funciones dedicadas pueden estar provistos de sistemas operativos integrados con hasta 15 años de vida, a diferencia de los

sistemas operativos comerciales que son reemplazadas cada pocos años. Esto evita tener que volver a desarrollar las aplicaciones para su ejecución en nuevos sistemas operativos.

Un ordenador industrial aporta al programador una herramienta de desarrollo mucho más potente que el entorno de programación estándar de un autómeta industrial o un microcontrolador. En cambio, los requisitos hardware para hacer funcionar la solución también son mucho mayores, lo que tiene incidencia en el coste total de la solución para el cliente.

### **2.3 Redes de comunicación industrial**

Si los sistemas de control actuales son digitales y la configuración en la que se encuentran es distribuida o al menos comunicada con otros controladores y sistemas de supervisión, es necesario un soporte a través del cual pueda realizarse dicha comunicación (Guerrero, 2009). Las redes de comunicación industrial son los mecanismos sobre el que se realizan el intercambio de datos necesario para que puedan realizarse las configuraciones de control anteriormente descritas.

Para que una red de comunicación pueda ser considerada industrial debe cumplir un mínimo de requisitos (Qutaiba, Basil y Ina'am, 2013). Por ejemplo, debe presentar un intercambio de datos eficiente y de bajo coste temporal, a modo de conseguir lo que se denomina tiempo real. Este concepto implica una acotación determinista máxima del tiempo de ejecución de un mensaje de control.

Las redes de comunicación industriales tienen una enorme importancia en la concepción de los sistemas de control actuales. Más allá del simple hecho de que permiten dialogar en tiempo real a distintos controladores, aportan otras funcionalidades de gran valor, como:

- Capacidad de reprogramación remota de los controladores.
- Reducción del cableado de las instalaciones.
- Escalabilidad de los sistemas al poder incorporar fácilmente nuevos dispositivos.
- Reducción de los tiempos de parada de la planta al obtener telediagnósticos para el mantenimiento.

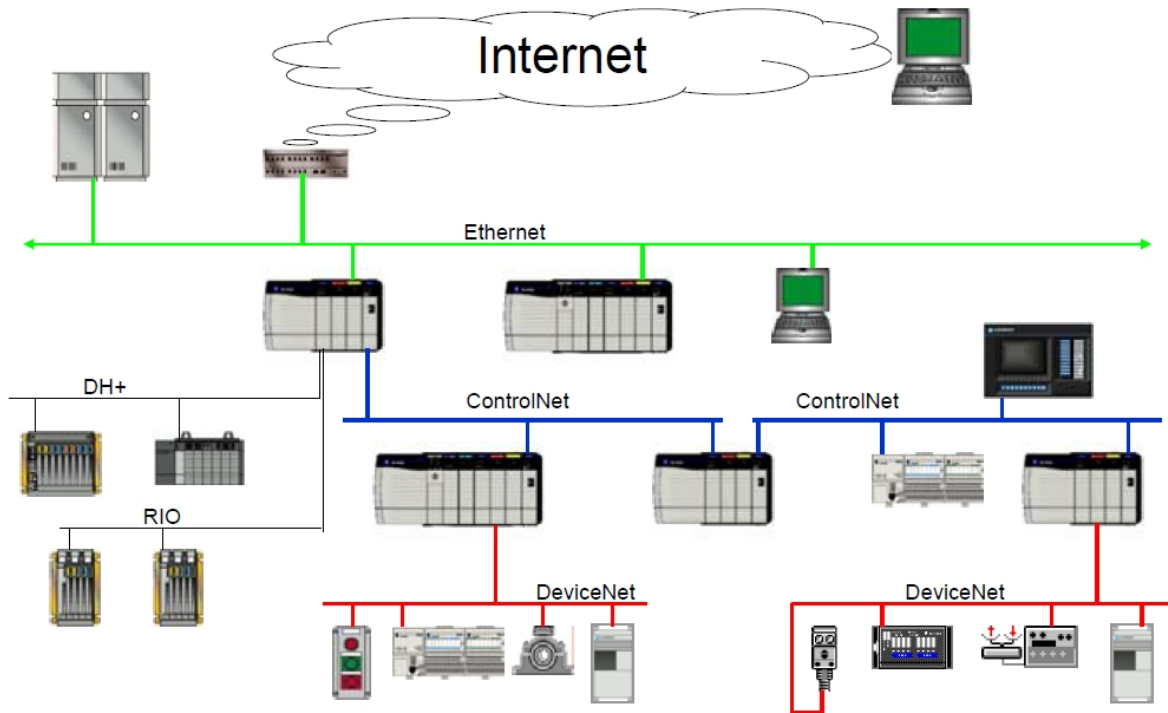
Todas estas ventajas hacen que hoy en día el control tienda a distribuirse y que las redes industriales sean una parte indispensable en la concepción de la arquitectura de un sistema de control.

### 2.3.1 Clasificación de las redes industriales

Las redes de comunicación industrial son distintas en función del entorno de la planta en la que vayan a ser instaladas (Scheer, 2012). El desglose elemental distingue las redes en cuatro subgrupos:

- **Bus de campo:** es la red industrial de más bajo nivel, en la que se conectan sensores y actuadores. Debe ser una red de bajo coste y tiempo real, utilizada fundamentalmente para el envío de mensajes cortos. Suele tener capacidad de transmisión de mecanismos prioritarios y debe tener mecanismos de detección y corrección de errores. Algunas de estas redes además de datos digitales también transmiten la energía eléctrica de alimentación de los dispositivos. Se corresponde con el nivel 0 del entorno CIM.
- **Red de célula:** empleada para la interconexión de autómatas programables y dispositivos de control que actúan en modo secuencial. Esta red puede manejar mayor cantidad de información que el bus de campo y debe tener alta fiabilidad así como recuperación rápida ante eventos anormales en la red. Gracias a este tipo de redes puede establecerse configuraciones distribuidas de control. Se corresponde con el nivel 1 del entorno CIM.
- **Red de planta:** se emplea para interconectar autómatas con ordenadores situados en niveles superiores de supervisión. También se emplea para la interconexión con otros niveles más elevados como diseño o planificación. Se corresponde por lo tanto con los niveles 2 y 3 del entorno CIM. Estas redes manejan mensajes de cualquier tamaño por lo que deben tener un gran ancho de banda y ser capaces de cubrir áreas extensas.
- **Red de factoría:** es un nivel en el que se conectan las redes de oficina y de gestión, por lo que debe tener capacidad para manejar grandes cantidades de datos si bien en este nivel el tiempo real no es un factor crítico. Se corresponde con el nivel 4 del entorno CIM.

El modelo de red utilizado es un factor clave para las prestaciones del sistema de control (Bogdan, 2011). Como se ha expuesto, existen distintos requisitos para las redes de comunicación en cada nivel de la planta. La problemática histórica de las redes de comunicación es que además de existir distintos tipos de redes, dentro de cada uno de los niveles hay a su vez distintos protocolos de comunicación que pueden ser aplicados, correspondientes a distintos tipos de dispositivos desarrollados por un gran número de fabricantes distintos. Hay una evidente falta de normalización, si bien se han intentado esfuerzos en este sentido que no han finalizado con éxito.



*Figura 2.9. Ejemplo de planificación de red industrial. En el estado del arte actual conviven distintos tipos de redes, encargados de los niveles de gestión, supervisión, control, actuadores y sensores.*

### **2.3.2 Principales estándares en redes industriales**

El hecho de que cada nivel de red pueda tener un protocolo de comunicación distinto incluso propietario de un distinto fabricante, hace que el desarrollar una configuración de control CIM en el que todos los niveles de la empresa se encuentren intercomunicados resulte complejo y costoso. A continuación se van a describir algunos de los principales protocolos aplicables tradicionalmente en cada uno de los niveles de red:

#### **2.3.2.1 Buses de campo**

Es el nivel de comunicación industrial más simple con paquetes de datos pequeños para la interconexión de sensores y actuadores (Mahalik, 2010). Es un bus muy importante ya que simplifica enormemente los cableados de las instalaciones. Por lo general son redes digitales, bidireccionales y multipunto montadas sobre buses serie interconectando los dispositivos de campo con los autómatas industriales.

Hasta la fecha no existe un bus de campo universal, si bien han existido importantes iniciativas para generar e imponer una norma. Por lo general, estas iniciativas son llevadas a cabo por fabricantes de dispositivos, lo que suele ser un obstáculo para alcanzar un consenso que permita aceptarlo por parte del gran número de distintos fabricantes de dispositivos de automatización existentes en el mercado. Los buses de campo con mayor presencia en el nivel de procesos son:

### 2.3.2.1.1 *Bus ASi*

Es un protocolo desarrollado en 1990 y actualmente definido por el estándar europeo EN 50295 y el internacional IEC 62026-2 (Organization AS-Interface, 2014). Se caracteriza por proporcionar tensión de alimentación y datos para los dispositivos por el mismo cable (hasta 8 A de corriente). Su funcionamiento se basa en la técnica de sondeo maestro-esclavo, con un tiempo máximo de ciclo de 5 ms y hasta 31 esclavos en el bus, si bien este número puede ser elevado con el empleo de repetidores. Admite cualquier topología de red y una longitud máxima de 100 metros entre dispositivos.

### 2.3.2.1.2 *HART*

Su nombre son las siglas del término inglés "*High way Addressable Remote Transducer*". Se trata de un bus digital que permite enviar datos superpuestos a la típica señal analógica de 4 a 20 mA empleada por muchos transductores (Russell, 2007). La señal digital del bus emplea dos frecuencias individuales de 1.200 y de 2.200 Hz que representan los dígitos 1 y 0 en el bus digital. Lo interesante de este bus es que permite una comunicación de datos digitales bidireccional compatible con las señales analógicas tradicionales de 4 a 20 mA.

### 2.3.2.1.3 *Profibus*

Su nombre es el acrónimo del término inglés "*Process Field Bus*". Es una norma internacional de bus de campo de alta velocidad normalizada en Europa según la EN 50170 desde 1996 e internacional IEC61158 (PROFIBUS and PROFINET International, 2014), resultado de un proyecto mixto entre 21 empresas y 5 institutos de investigación alemanes.

La red industrial Profibus se aplica a distintos niveles de la planta, existiendo protocolos específicos para cada una de ellas: Para los niveles de bus de campo se pueden emplear los protocolos Profibus DP ("*Decentralized Periphery*") que es un protocolo orientado a los sensores y actuadores conectados a los autómatas, o el Profibus PA ("*Process Automation*") que cumple ciertas normas especiales de seguridad para la industria química y recintos expuestos al peligro de explosiones, transmitiendo tanto datos como energía en el bus mediante sólo 2 conductores. Profibus DP (ó PA) está optimizado para la alta velocidad de datos a costo reducido, intercambios cíclicos de datos con transmisiones de pequeñas cantidades de información y conexión "*plug & play*" de dispositivos.

### **2.3.2.1.4 *DEVICE Net***

Protocolo desarrollado por la empresa americana Allen Bradley en el año 1994 y que actualmente es un protocolo abierto para que pueda ser utilizado por otros fabricantes (ODVA global association, 2014). Este protocolo permite la conexión de hasta 64 dispositivos a distancias entre 100 y 500 metros, con velocidades de hasta 500 kbit/s. El tamaño máximo de los mensajes para cada nodo es de 8 bytes y emplea dos pares trenzados, uno para alimentación y otro para datos. La característica peculiar de este protocolo es la existencia de diversos formatos de mensajes, lo que permite al bus cambiar el modo de operación en función del tipo de mensajes enviados. Algunos de los modos son: sondeo, envío cíclico, cambio de estado, mensajes explícitos y mensajes fragmentados.

### **2.3.2.1.5 *Interbus***

Es un protocolo con el formato de comunicación maestro-esclavo y en la que los sensores y actuadores se conectan con topología en anillo. Es impulsado por la empresa Phoenix Contact. Existen unas 700 empresas que desarrollan dispositivos para este protocolo, si bien no es respaldado por los grandes fabricantes. Dispone de estándar europeo desde 1997, norma EN50254 (INTERBUS Club, 2014).

### **2.3.2.1.6 *Fieldbus Foundation***

Es un bus conforme al estándar IEC 6118 e ISA s50.02 (Fieldbus Foundation, 2014) que fue desarrollado fundamentalmente para sustituir los dispositivos industriales que funcionan conforme a las señales 4 a 20 mA por un bus digital mediante la incorporación de un pequeño interfaz. Es un protocolo que funciona mediante paso de testigo en los nodos en la red y que también permite transmisiones asíncronas para mensajes con prioridad. Se pueden conectar hasta 32 dispositivos en el bus a una longitud de 1.900 metros.

### **2.3.2.1.7 *Bus CAN***

Desarrollado por el fabricante alemán BOSCH inicialmente para los cableados de los automóviles marca Mercedes-Benz. Actualmente es un bus de campo muy extendido en la industria descrito en el estándar ISO 11898 (CAN in Automation - CIA- Foundation, 2014). Emplea la técnica de productor-consumidor, estando todos los nodos a la escucha de los mensajes. Todos los nodos revisan si existe algún error en las transmisiones de datos (hasta 5 chequeos distintos de error) y fuerzan la retransmisión en caso de fallo. El bus CAN emplea un acceso al bus mediante prioridades, resolviendo los posibles conflictos en la red con técnicas no destructivas.

### **2.3.2.1.8 *Modbus***

Es uno de los buses de campo más antiguos, empleado desde 1979 (Modbus Organization, 2014). Utiliza el puerto serie RS-232 para conectar autómatas con

sensores y actuadores, con un alcance máximo de 350 metros. Este protocolo no ha sido regulado por ninguna entidad, pero es un protocolo abierto y sus especificaciones están disponibles. Este protocolo funciona mediante el sistema maestro-esclavo y es bastante utilizado para aplicaciones de control inalámbricas.

### 2.3.2.1.9 *Compobus*

Bus de comunicaciones impulsado por la empresa japonesa Omron. Tiene dos versiones: Compobus D que es una versión de Device Net particularizada aunque compatible con las especificaciones generales de este protocolo y Compobus S especialmente concebida para sustituir cableados tradicionales de sensores y actuadores por un bus de campo. Compobus S emplea tan sólo dos hilos para conectar hasta 256 dispositivos trabajando con distancias de hasta 500 metros. Los nodos no requieren de ninguna configuración, tan sólo se conectan en el bus y la información es recibida automáticamente en el autómatas principal de la red. Pueden incorporarse nuevos nodos a la red sin necesidad de quitar la alimentación del resto. Es un protocolo que tiene en la sencillez y la flexibilidad su principal argumento de uso.

### 2.3.2.1.10 *LONworks*

Protocolo impulsado por "Echelon Corporation" y que fue incluido en el estándar ANSI/EIA 709.1 en el año 1999. LONworks es el acrónimo de "*Local Operating Networks*". Fue desarrollado principalmente para la conexión de sensores y actuadores en redes domóticas. Su concepto básico es el de red de control, en la que los dispositivos pueden comunicarse de igual a igual (peer to peer) o bien mediante maestro/esclavo. Cada nodo conectado a este bus incorpora una tarjeta denominada "neuron chip" consistente en 3 procesadores de 8 bits en paralelo, dos de ellos optimizados para el protocolo de comunicaciones y un tercero para la ejecución de la aplicación en el nodo. Algunas de sus funciones incluyen prioridades de transmisión, autenticación de mensajes, eliminación de colisiones, soporte cliente-servidor y otras funciones más avanzadas.

### 2.3.2.2 *Redes de célula y planta*

Estas redes son las que se emplean para el control de la planta, incluyendo tanto la conexión entre sí de los autómatas en las configuraciones de control distribuidas como la conexión entre los autómatas y los ordenadores de supervisión y planificación. Las redes de este nivel tienen tradicionalmente unos requisitos distintos a los buses de campo ya que deben manejar mayores cantidades de datos a gran velocidad y con una alta fiabilidad.

El escenario actual en las redes de control es similar al de los buses de campo. Existen diversos protocolos industriales impulsados por distintos grupos de

empresas, no habiéndose establecido un estándar industrial. A continuación se describen brevemente los principales protocolos que están siendo empleados en estas redes conforme al estado del arte actual (Zurawski, 2014).

### **2.3.2.2.1 Profibus FMS**

Se trata del protocolo Profibus adaptado a la red de célula y planta. Las siglas FMS hacen referencia a “*Fieldbus Messages Specifications*”. Está diseñado para comunicar entre sí autómatas industriales y ordenadores. Soporta comunicaciones de propósito general, mensajes de supervisión, configuración de dispositivos, etc. También soporta el envío de grandes cantidades de datos, como los necesarios para transmitir programas o bloques de información de bases de datos.

Normalmente es empleado para intercambios acíclicos de datos y con tiempos de comunicación no críticos, ya que en el concepto de esta red es más importante la funcionalidad que conseguir unos tiempos de comunicación pequeños.

### **2.3.2.2.2 Control Net**

Se trata de una red de alta velocidad para aplicaciones industriales. Tiene un protocolo abierto y está gestionado por la asociación ODVA (*Open Device Vendors Association*). Esta red realiza dos funciones fundamentales: gestión de señales de datos y control y envío de mensajes no críticos en tiempo al sistema de control. Las señales de periféricos y de control que son gobernadas por la red ControlNet tienen la más alta prioridad, y de hecho es una red determinista y cíclica y por lo tanto facilita las tareas de control. Es determinista por la capacidad de establecer los tiempos en el que los datos se envían y cíclica porque garantiza que las veces que se transmiten los datos son constantes y no dependen de los dispositivos conectados

Algunas características interesantes de esta red es que permite la carga y descarga de programas de los autómatas Tiene una sencilla configuración y requiere bajo mantenimiento. Admite velocidades de hasta 5 Mbits/s y permite 99 nodos de conexión, con distancias de hasta 1 km.

### **2.3.2.2.3 Modbus Plus**

Este bus fue desarrollado originalmente por Modicon, y está gestionado hoy en día por la organización Modbus-IDA, es una red abierta. Es empleada principalmente en Europa y permite la interconexión de autómatas industriales de muy diversos fabricantes, es una red de uso muy extendido. Es una red que funciona bajo el concepto maestro / esclavo, es decir, un controlador es el que inicia siempre las comunicaciones (maestro) y el resto de dispositivos (esclavos) responden a las solicitudes. En este protocolo se asigna una dirección a cada autómata conectado reconociendo los mensajes que son direccionados para extraer cada controlador la información referente a la acción a tomar.

La red trabaja en el nivel físico del estándar 485, que se trata de un bus de comunicación diferencial. Admite velocidades de hasta 1 Mbits/s con 64 nodos conectados en distancias de 450 metros.

### **2.3.2.2.4 CAN Open**

Se trata de una red para aplicaciones de automatización basada en el bus CAN, el cual solo define las capas física y de enlace de la red. CAN Open implementa en el protocolo la capa de aplicación, conservando las propiedades físicas del bus CAN, y su uso está ampliamente extendido siendo adoptado como un estándar internacional, lo que garantiza interoperabilidad entre dispositivos de distintos fabricantes. Algunas ventajas de su uso implican su capacidad de tratamiento de datos en tiempo real, sus bajos costos, alta resistencia a interferencias, controles confiables de errores en transmisión y recepción y un amplio rango de velocidades de funcionamiento para los dispositivos presentes en la red, si bien la velocidad de transmisión es inversamente proporcional a la longitud de la red. Esta red no está tan optimizada como otras en cuanto a la cantidad de datos útiles incluidos en cada paquete, ya que hay una gran cantidad de datos oficiales en cada paquete.

### **2.3.2.2.5 Data Highway Plus**

Es una red de automatización para planta que permite tanto las tareas de comunicación para el control de los autómatas como su reprogramación desde computadores conectados a la misma red. Su protocolo emplea un testigo que va pasando entre los distintos nodos presentes en la red, de forma que cuando un nodo dispone del testigo, puede proceder a enviar datos si necesita realizar alguna función o simplemente pasar el testigo al nodo siguiente. Cuando se realiza un envío de datos a otro nodo, el transmisor debe esperar la respuesta antes de pasar el testigo al siguiente nodo.

## **2.3.3 Ethernet Industrial**

Dada la importancia de la red Ethernet en la arquitectura de control que es planteada en la presente tesis industrial, se trata en este apartado de forma más específica. La red Ethernet fue desarrollada para su empleo en los niveles más altos del sistema de control CIM, es decir, la conexión entre sí de computadores y periféricos, red de planta. En la actualidad es la red más extendida en este nivel de la arquitectura (Marshall y Rinaldi, 2004), distinguiéndose por su alta estandarización, fácil instalación y mantenimiento. La tendencia tecnológica actual a nivel industrial consiste en su extensión a otros niveles más bajos de la arquitectura CIM, redes de célula y campo, para lo que la industria está abordando las modificaciones necesarias en su definición, constituyendo un campo de investigación.

La red Ethernet en su diseño inicial es una red half-duplex, tiene una configuración en bus y el dispositivo de menor velocidad determina la de toda la red. Además es una red no determinista, contempla la detección y resolución de colisiones que pueden producirse durante las comunicaciones. Bajo estas premisas resulta inviable su posible aplicación para una arquitectura de control industrial.

Otras dificultades del uso de esta red para aplicaciones industriales radica en la alta confiabilidad requerida en la industria, así como el trabajo de las redes en condiciones de temperatura y ruidos eléctricos desfavorables, y todo ello no parece a priori compatible con el entorno de las redes que como Ethernet se emplean para ambientes del nivel de gestión o administración en las empresas, en los cuales se encuentran sometidas a condiciones ambientales mucho más favorables.

Sin embargo, la evolución de la red Ethernet (Faiser y Sauter, 2004) ha llevado a que hoy en día sea una red full-duplex, admite topología en estrella y alcanza velocidades de transmisión de 1 Gbps. Juntamente con la aparición de switches de comunicación Ethernet industriales (Larsson, 2002) que separan los dominios de colisión de las redes, hace que en su conjunto la red Ethernet haya logrado un alto grado de determinismo en el enlace. Estos dispositivos crean dinámicamente redes entre sus puertos y con dominios de colisiones aislados entre sí, de forma que cada puerto puede operar a la máxima velocidad posible y cada dispositivo trabaja en modo full-duplex o half-duplex sin afectar al resto.

Otra evolución importante de Ethernet para su uso industrial es la incorporación a partir del estándar IEEE 802.1p de la prioridad de mensajes que permite dar prioridad a los datos de determinados dispositivos de la red. Con esta funcionalidad se logra que las trama de alta prioridad no sean interrumpidas por tráfico de menor prioridad (Decotignie, 2005).

A nivel físico también se ha mejorado el diseño de la red, incluyendo alimentación redundante y diseños para poder ser utilizada en condiciones extremas de vibración, aceleración y choque, así como sus respectivos conectores. Todas estas mejoras de confiabilidad han sido homologadas por organismos internacionales como IEC, CE, FCC o UL. En la Tabla 2-1 se indican algunas normas referentes en las que consta Ethernet Industrial.

Desde el punto de vista del uso industrial, la tecnología Ethernet está teniendo un fuerte avance, sobre todo por el apoyo de los fabricantes de dispositivos de automatización, integradores y clientes finales de los sistemas industriales, que entienden las enormes ventajas de integrar la misma tecnología en el nivel de control que en los niveles superiores de la empresa. La aparición de conectores IP67 y medios físicos como la fibra óptica, permiten que Ethernet pueda ser empleada en entornos industriales exigentes, como por ejemplo aplicaciones navales que tienen unos requisitos y normas de cumplimiento de alto estándar.

Tabla 2-1. Normas de organismos internacionales que incluyen Ethernet Industrial.

<b>EN 61000 - 6 - 2:2001</b>	<i>Generic standards - Immunity for industrial environments</i>
<b>EN 61131 - 2:2000</b>	<i>Programmable Controllers</i>
<b>FCC 47 CFR Part 15:2003</b>	<i>Code of Federal Regulations</i>
<b>IEEE 1613</b>	<i>Standard Environment and Testing Requirements for Communication Networking Devices in Electric Power</i>
<b>cUL 1604</b>	<i>Electrical Equipment for Use in Class I and Class II and Class III Hazardous Locations</i>

Una de las limitaciones que impiden a la red Ethernet industrial ser masivamente utilizada radica en que aún no existe una pasarela de comunicación eficiente y de bajo coste entre dicha red y los protocolos industriales más utilizados por muchos dispositivos de control de célula y planta.

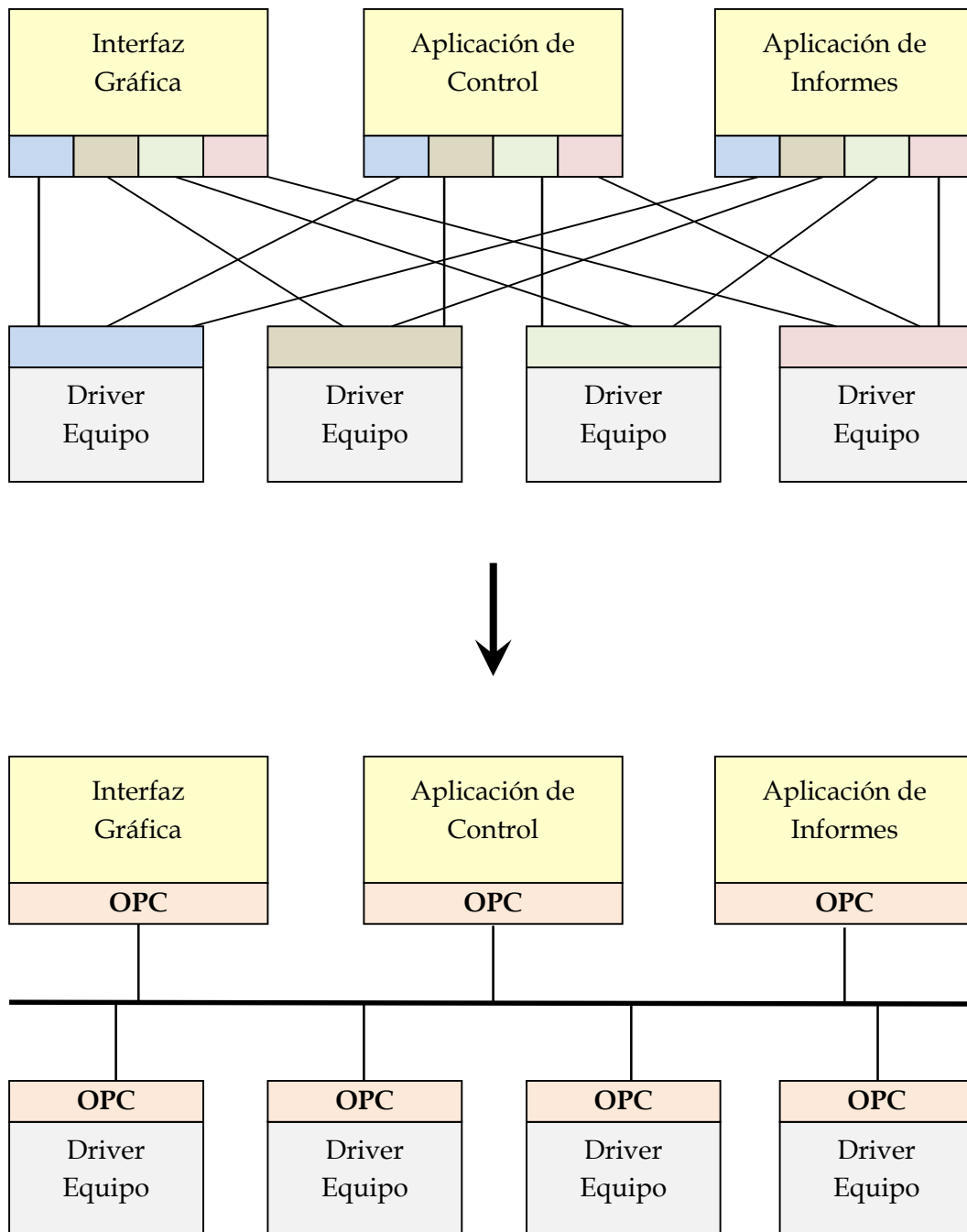
La implicación de este escenario conlleva que todas las industrias con automatizaciones ya realizadas y con multitud de dispositivos de control en planta no pueden incorporar nuevos elementos con Ethernet industrial, sino que necesitan seguir conviviendo con los protocolos de control ya instalados. Esto limita que el uso de Ethernet industrial se haga más extensivo, y obliga a los integradores a tener que optar por una solución de comunicación u otra durante el proceso de diseño del sistema de comunicación en la automatización de la planta.

### 2.3.4 Estándar OPC

Como se ha visto en este apartado, existe un gran número de redes de comunicación industrial y ello provoca problemas de compatibilización entre dispositivos y que los sistemas de control en las plantas industriales se conviertan en sistemas cerrados y dependientes de un determinado fabricante o modelo de dispositivos, pertenecientes a la red industrial de campo o de planta que se haya instalado inicialmente.

A lo largo del tiempo han surgido distintas iniciativas para tratar de abordar esta problemática, si bien ninguna de ellas ha tenido un éxito definitivo. Se puede considerar al estándar OPC (OPC Foundation, 2014) como una de las iniciativas más importantes (Mahnke, Leitner y Damm, 2010). Hay distintos fabricantes asociados a esta iniciativa, entre los que destacan Microsoft como empresa desarrolladora de software y Siemens como fabricante de dispositivos de control hardware. El estándar OPC busca como objetivo facilitar la integración de los dispositivos de control en los niveles de red de planta y de gestión de la empresa.

## 2. Estado del arte: antecedentes teóricos



*Figura 2.10. OPC es una iniciativa de Microsoft para tratar de solventar los problemas de compatibilidad entre los programas SCADA y la gran variedad de redes de comunicación y fabricantes de autómatas del mercado.*

El estándar OPC se basa en el empleo de unos servicios informáticos que permanecen residentes tanto en el sistema operativo Windows como en los

dispositivos de control que hacen que el diálogo entre los ordenadores y los elementos de control sea compatible y transparente para el usuario. El estándar OPC contempla los tipos de datos más habituales en las aplicaciones de control de dispositivos como son los datos en tiempo real, los históricos, los eventos y alarmas.

El empleo de este estándar aporta varios beneficios notables, además de permitir al usuario escoger aquel controlador o dispositivo que mejor se adapte a su requisito sin necesidad de preocuparse del fabricante o del modo de conexión. Una aplicación cliente OPC puede comunicar libremente con cualquier aplicación servidor OPC disponible en la red, o con tantas aplicaciones servidores OPC como haya disponibles. Desde el punto de vista de la seguridad también se demuestra una tecnología confiable (Scalia y Byres, 2010).

### 2.4 Aplicaciones SCADA

SCADA es un acrónimo de los términos “*Supervisory Control And Data Acquisition*” (adquisición de datos y supervisión de control). Se trata de una aplicación software fundamental en cualquier sistema de control desarrollado en la actualidad. Es un programa diseñado con la finalidad de controlar y supervisar los procesos de control que tienen lugar en la planta industrial (Rodríguez, 2012).

Los programas SCADA son ejecutados en ordenadores, los cuales se comunican a distancia mediante las redes de comunicación industriales a nivel de célula y planta con los autómatas o dispositivos que están realizando el control. El programa SCADA puede almacenar gran cantidad de datos que pueden ser accesibles para usuarios de la empresa en distintos niveles.

#### 2.4.1 Requisitos del SCADA

Los programas informáticos SCADA deben comunicarse en tiempo real con los equipos encargados del control, de forma que las tareas de supervisión y adquisición de datos puedan ser mostradas a los operadores de la planta para que puedan visualizar situaciones de alarma y poder tomar acciones sobre cualquier equipo remoto conectado al PC a través de la red industrial. De hecho, un programa SCADA debe estar diseñado para dar al operador de planta una interfaz gráfica sencilla así como la capacidad de supervisar y controlar fácilmente todos los procesos.

Los primeros programas SCADA desarrollados requerían del uso de ordenadores con tarjetas de adquisición de datos especiales para que se pudieran conectar al ordenador los sensores y actuadores que era necesario monitorizar o controlar. Los programas modernos empleados en el estado del arte actual emplean

## 2. Estado del arte: antecedentes teóricos

la capacidad de las redes de comunicación industriales para conectarse sin necesidad de cableados complejos al conjunto de autómatas y dispositivos que forman parte del proceso de automatización de la empresa.

Las tareas de control generalmente no son desarrolladas por el SCADA sino por otros dispositivos específicos como los autómatas. Sin embargo, si en un momento dado fuera necesario, el programa debe permitir al operario tomar el control del proceso sustituyendo el control del autómatas (Aimas y otros, 2014).

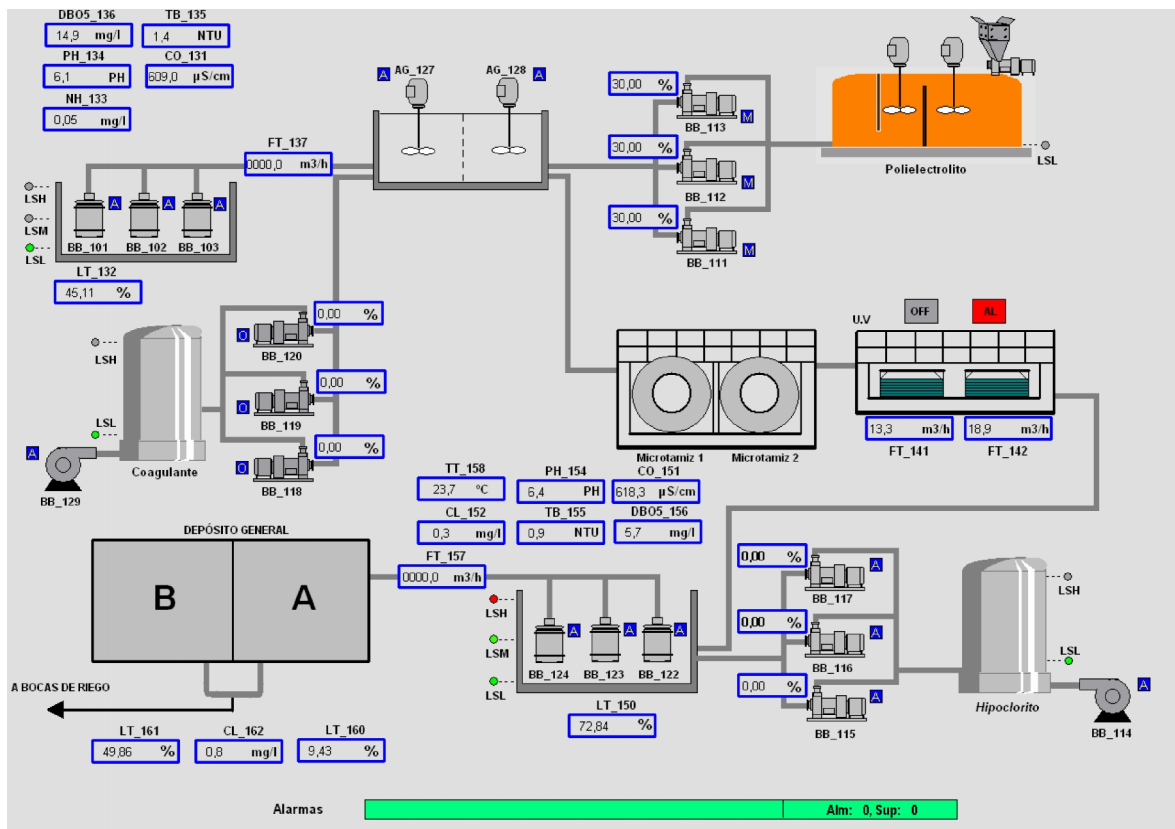


Figura 2.11. Ejemplo de programa SCADA para un proceso de control de riego.

A continuación se describen los requisitos que debe tener todo programa SCADA conforme al estado del arte actual y que son contemplados en su totalidad por los programas informáticos ofrecidos por las empresas del sector:

- Monitorización gráfica y en tiempo real de las principales variables y elementos de control que intervienen en el proceso.
- Almacenamiento de datos históricos de las señales de la planta para que puedan ser consultados con posterioridad. Debe permitir una sencilla descarga de los datos para su tratamiento en hojas de cálculo.

- Posibilidad de modificar la ley de control o al menos ciertas condiciones de control del proceso.
- Comunicación transparente y sencilla con el usuario y también con el equipo de planta y el resto de la empresa (redes de planta y de gestión). Algunos SCADA también permiten su comunicación remota desde redes exteriores a la propia empresa.
- Arquitectura abierta, permitiendo su crecimiento para adecuarse a nuevas necesidades de la planta industrial.
- Proceso de instalación sencillo, sin excesivos requisitos de hardware y mediante un interfaz amigable.

La tendencia actual en la industria es el empleo de programas SCADA como interfaz estándar entre los usuarios y la planta de control (McCrary, 2013). El SCADA no solo se instala en las nuevas plantas industriales, sino que sustituye en las antiguas a los paneles de control repletos de indicadores luminosos, instrumentos de medida y pulsadores. El sistema SCADA no sólo realiza la misma función que estos antiguos paneles, cumple con otras funciones más avanzadas. Un programa SCADA comercial conforme al estado del arte actual debe contemplar las siguientes prestaciones (National Instruments, 2015):

- Supervisión en tiempo real de la planta. Es una de las principales tareas, mostrar al operador el estado de funcionamiento de todos los elementos utilizando una interfaz gráfica de sencillo manejo. Los datos mostrados son el resultado de la adquisición de información a través de la red industrial de célula o planta.
- Procesamiento y almacenamiento de la información. Los datos capturados deben ser almacenados en bases de datos para su posterior tratamiento informático. Los datos históricos son descargados hacia hojas de cálculo que permiten realizar estudios del estado de la planta y su funcionamiento.
- Presentación de alarmas. Cualquier evento anómalo debe ser claramente señalado para que el operador pueda realizar las tareas de control oportunas para subsanar el problema.
- Control remoto de los equipos. Debe ser posible realizar tareas de control remotas para sustituir los autómatas ante determinados eventos, así como modificar ciertos parámetros de control. Otra función de control más avanzada permite la reprogramación remota de los autómatas.
- Visualización de la planta mediante interfaz gráfico. Todos los SCADA se caracterizan por mostrar el funcionamiento de la planta mediante un interfaz gráfico dinámico en el que se representan mediante imágenes en

movimiento los distintos elementos de la planta con el objetivo de dar al operador una impresión de estar visualizando la planta real.

- Generación de informes y datos estadísticos conforme a periodos de tiempo concretos seleccionables por el operador.
- Programación de eventos. Se debe poder configurar el programa para que genere automáticamente informes o realice rutinas de control o mantenimiento automáticamente en ciertos momentos programados.

### **2.4.2 Componentes y módulos del SCADA**

Para formar un sistema SCADA deben intervenir varios componentes hardware del sistema de control (Sagi y otros, 2012). Los elementos básicos que conforman un sistema SCADA son:

- Ordenador Central, denominado MTU (*"Master Terminal Unit"*, unidad maestra).
- Equipos de control remotos, llamados RTU's (*"Remote Terminal Unit"*, unidad remota), que son habitualmente autómatas programables industriales. Se considera RTU a cualquier dispositivo que envía información hacia la unidad maestra.
- Una red de comunicación industrial, como las vistas en el Apartado 2.3, necesaria para comunicar el MTU con el resto de RTU's, así como el ordenador central con el resto de ordenadores de planta y de gestión de la empresa.
- La instrumentación de campo asociada al proceso industrial que es controlada por los equipos RTU's y cuyos datos son adquiridos por el ordenador principal MTU a través de las redes de comunicaciones.
- El programa informático de los SCADA se desarrolla en base a módulos. Según este desglose, los módulos necesarios que debe tener cualquier SCADA son cinco:
  - Módulo de configuración. Se emplea para que el usuario pueda adaptar el entorno de trabajo del SCADA a las particularidades del proceso productivo.
  - Módulo de interfaz gráfica. Representa mediante gráficos interactivos (sinópticos) el proceso productivo de la planta con los principales elementos de control que intervienen en ella. Mediante este módulo se intenta conseguir una apariencia visual y dinámica lo más similar posible a la planta de control industrial real.
  - Módulo de proceso. Sirve para ejecutar acciones de mando sobre el sistema o para ajustar los valores de control de los autómatas que ejecutan los algoritmos de control del proceso productivo.

- Módulo de comunicación. Utilizado para configurar las comunicaciones entre el ordenador central MTU y el resto de RTU's y ordenadores remotos que deben entrar en comunicación.
- Módulo de gestión de datos. Emplea una base de datos para el almacenamiento y procesamiento de la información, dejándola en un formato fácilmente accesible para los usuarios u otras aplicaciones.

### 2.4.3 Soluciones SCADA comerciales

En la práctica, los programas SCADA presentan algunas dificultades en su uso e instalación que son bastante similares a las analizadas con las redes industriales. Para realizar el intercambio de datos entre el ordenador central MTU y el resto de autómatas de la planta industrial RTU's, es necesario emplear un protocolo de comunicación que sea compatible por ambas partes. Además, la presencia de autómatas industriales de distintos fabricantes o incluso del mismo pero de distintas familias puede complicar en sumo el proceso.

Cada empresa desarrolladora de programas informáticos SCADA emplean diferentes protocolos de comunicación y no existe un estándar para la estructura de los mensajes ni para los protocolos. En muchas ocasiones para resolver este problema algunas empresas deben invertir en equipos convertidores de protocolos que hagan de pasarela de unas redes industriales a otras, lo que conlleva un importante gasto económico y también un incremento de las posibles fuentes de averías en la planta industrial. A continuación se muestra un listado de las principales empresas que desarrollan programas SCADA:

- Lookout, de National Instruments.
- Monitor Pro, de Schneider Electric.
- SYSMAC SCS, de Omron.
- Aimax, de Design Instruments.
- FIX, de Intellution.
- SCADA InTouch, de Logitek.
- Scatt Graph 500, de ABB.
- WinCC, de Siemens.
- CUBE, de Orsi España S.A.
- Rs-View32 de Rockwell.
- Genesis32 de Iconics.

Para solventar la dificultad de la necesidad de drivers específicos para que cada programa SCADA pudiera acceder a cualquier red de comunicación industrial de un determinado fabricante, se puede utilizar la iniciativa ya descrita en la sección 2.3.4 denominada OPC, una iniciativa liderada por Microsoft y otras empresas como

Siemens, Fisher, Intellution o Rockwell, que se engloban en la Fundación OPC. Para aplicar el estándar PC en un SCADA, los equipos RTU deben disponer de un módulo OPC para que el ordenador principal le solicite los datos del proceso con el mismo formato OPC.

La comunicación se ve como un servicio que es solicitado desde el cliente (el ordenador principal) hacia los servidores (cada estación de control RTU). Los servicios prestados por los servidores OPC implican la lectura de datos, modificación de parámetros de control y verificación de variables del proceso, es decir, los servicios básicos con los que se puede controlar y supervisar un proceso.

### **2.5 Tecnología WEB 2.0**

La tecnología Web 2.0 es una evolución del concepto de página Web tradicional que se caracteriza por el empleo de nuevas tecnologías que permiten que el individuo tenga en la red tanta importancia como las empresas o los medios de comunicación. Es una revolución del concepto de página Web ya que esta puede ser considerada como plataforma base para la ejecución de aplicaciones (O'Reilly, 2009).

La segunda mitad de la década de los noventa llegó a denominarse la “burbuja de Internet”, que es lo que hoy se llamaría Web 1.0. En aquella época la Web era utilizada por 45 millones de personas (a mediados del año 1996) y existían 250.000 sitios Web. En esta época el 80% del contenido de Internet estaba creado por empresas o medios de comunicación, ya que eran capaces de emplear complejas técnicas de edición de páginas Web poco accesibles para personas sin una determinada formación en entornos como el HTML. Además, el 20% restante que sí era creado por usuarios tenía una temática y estructura bastante similar, como los foros, cuyo contenido es poco visible para buscadores e Internet en general. Se puede considerar la Web en esta primera etapa como una galería comercial con anuncios y tiendas y en el que realizar transacciones comerciales.

A comienzos del siglo XXI se realizaron importantes evoluciones tecnológicas, como el aumento del ancho de banda en las comunicaciones o el desarrollo de algoritmos de compresión de video y audio, lo cual contribuyó a que aparecieran en la Web una amplia diversidad de nuevos formatos y contenidos muy atractivos que popularizaron más Internet. De hecho, en el año 2006, Internet disponía de más de 1.000 millones de usuarios con más de 80 millones de páginas Web. Sin embargo, el principal cambio de Internet y la Web no era su gran crecimiento o sus novedosos formatos, sino el cambio de tendencia en cuanto a los autores de los contenidos. En este año 2006, el 85 % del contenido de Internet era ya desarrollado por los usuarios y tan sólo el 15 % desarrollado por empresas y medios de comunicación.

Este importante cambio en el que los individuos pasaron a ser los protagonistas en la Web fue posible gracias al desarrollo de herramientas tecnológicas como Blogger en el año 2003, que permitía a usuarios sin ningún conocimiento avanzado en informática desarrollar contenidos Web. Los usuarios de Internet se dieron cuenta de poder utilizar la Web para mucho más que consumir o ver contenidos, podían participar activamente en la misma utilizando sencillas herramientas tecnológicas, había nacido la Web 2.0 (Fuchs-Kittowski y otros, 2009).

Aunque los blogs se consideran uno de los fenómenos más llamativos de la evolución de Internet hacia la Web 2.0, hay otro aspecto muy importante para el análisis del estado del arte de Internet en su aplicación en la tesis. Consiste en el desarrollo de la Web como plataforma para el desarrollo de aplicaciones (Lucía y Ferrucci, 2007). Este concepto es revolucionario, ya que implica que en vez de realizar programas informáticos que son instalados en los ordenadores como aplicaciones de usuario, los programas pueden ejecutarse directamente desde una página web, siendo accesibles desde cualquier ordenador, en cualquier lugar del mundo y con cualquier sistema operativo instalado.

### 2.5.1 Principales características de la tecnología Web 2.0

A continuación se describen los distintos saltos tecnológicos asociados a la evolución de la Web 2.0 en su estado del arte actual (Governor, 2009):

- Web como plataforma. Los servicios de la Web permiten que el usuario desarrolle parte de sus aplicaciones en la Web y almacene en ella sus contenidos en vez de emplear el disco duro del ordenador. Gracias a estos servicios, los usuarios pueden acceder a su información desde cualquier ordenador con el único requisito de tener acceso a la red.
- Programas basados en Web. Las empresas comienzan a desarrollar programas basados en la Web como plataforma, gratuitos y financiados mediante modelos de servicio, en vez del modelo tradicional de desarrollo software como paquete vendido mediante licencia e instalable en el disco duro de un ordenador.
- Control de los datos. Los datos son de los usuarios y puede llevarlos de un servicio a otro, gracias a los formatos y protocolos abiertos de intercambio de información.
- Control de interfaces de aplicaciones. El usuario utiliza páginas en las que muchos aspectos visuales pueden ser configurados gracias al empleo de tecnologías como AJAX, JavaScript y XML. Se trata de lenguajes y técnicas de programación que permiten un diseño elástico de las páginas Web, en el que el usuario puede ajustar componentes, partes o presentaciones de la página Web.

- Interfaces sencillas. Las interfaces de las Web intentan ser universales e inconfundibles, de modo que puedan ser utilizadas de forma sencilla por cualquier usuario con un aprendizaje mínimo.
- Datos generados por el usuario (UGC, “*User Generated Data*”). Los usuarios son participantes activos de la Web introduciendo contenido en las aplicaciones, calificando páginas, compartiendo archivos, etc.
- Mashups. Se desarrollan servicios mixtos basados en aplicaciones Web que se crean a partir de contenidos o funcionalidades de otras páginas Web para dar servicios más completos a los usuarios.

En la Web 1.0, un webmaster es el encargado de publicar una página Web que era consumida por múltiples usuarios. La evolución de la Web 2.0 y lo que permite su empleo en la tesis doctoral es el hecho de que tanto el webmaster como múltiples internautas pueden generar contenido en dicha Web para ser consumida por múltiples usuarios. Bajo este concepto, en la tesis doctoral serán múltiples microservidores los encargados de enriquecer el contenido de las páginas Web que son consumidas por los usuarios de la organización o desde Internet desde fuera de la propia empresa.

### **2.5.2 Lenguajes de programación Web 2.0**

Los lenguajes importantes para el desarrollo de las páginas Web 2.0 son los que emplean scripts dinámicos, que tienen ciertas características que los distinguen de los lenguajes de programación clásicos, como el C ++ o el Basic, que son lenguajes estáticos. Los lenguajes dinámicos se caracterizan por su sintaxis corta, son lenguajes interpretados (no compilados) y tienen una gestión automática de los recursos de memoria.

Estas propiedades son muy importantes para el desarrollo de aplicaciones web, ya que permiten la creación de prototipos, reprogramaciones o entornos de prueba de forma muy rápida. Dos de los lenguajes dinámicos más importantes tanto por sus características funcionales como por su popularidad para el desarrollo de páginas Web 2.0 son PHP y Python.

El lenguaje PHP fue creado en 1994 por Rasmus Lerdorf y se ha desarrollado e implementado por la organización (The PHP Group, 2014), quien se encarga de definir los estándares para dicho lenguaje. El lenguaje PHP opera bajo la licencia de código abierto y toda la documentación necesaria para su empleo está disponible gratuitamente en línea. PHP tiene una gran ventaja para las pequeñas y medianas empresas: está disponible en casi todos los proveedores de hosting compartido y es

el entorno de ejecución de la mayoría de los servidores estándar del mercado (Suzumura y otros, 2008).

PHP tiene integración directa con diversas bases de datos, como MySQL, Oracle, PostgreSQL o Microsoft SQL Server. Esta característica es destacable como lenguaje de programación escogido para la programación de los microsistemas de la tesis, ya que la base de datos es el núcleo de información para el sistema SCADA en la Arquitectura de Control Web 2.0.

El lenguaje Python se inició en 1991 por Guido van Rossum, diseñado como un lenguaje de propósito general y no especializado como un lenguaje de scripting web como PHP. Tampoco hay una especificación formal del lenguaje, sino un estándar de facto que es desarrollado e implementado por la organización (Python Software Foundation, 2014). Es un lenguaje de programación de código abierto igual que el lenguaje PHP.

La característica más importante del Python es que es un lenguaje diseñado para ser fácil de leer, se conoce habitualmente como un lenguaje en pseudocódigo que funciona. Por ejemplo, solo contempla dos tipos de bucles, a diferencia del PHP que contempla cuatro tipos de bucles. Python dispone de una librería estándar de módulos muy extensa, con servidores, accesos a bases de datos, interfaces gráficas o control de email.

El AJAX (*Asynchronous Javascript And XML*) es una técnica de desarrollo Web para crear páginas Web interactivas de suma importancia para el desarrollo del concepto Web 2.0, sobre todo para dar dinamismo a dichas páginas (Firtman, 2008). Las aplicaciones AJAX corren en el navegador del usuario mientras se mantiene una conexión asíncrona con el servidor. Esto permite que se pueda actualizar la página Web que está siendo mostrada sin necesidad de tener que recargarla, lo que mejora enormemente la experiencia de los usuarios. AJAX está compuesto por dos componentes tecnológicos, el lenguaje de programación Javascript y el medio XML que permite a AJAX tener acceso a los datos.

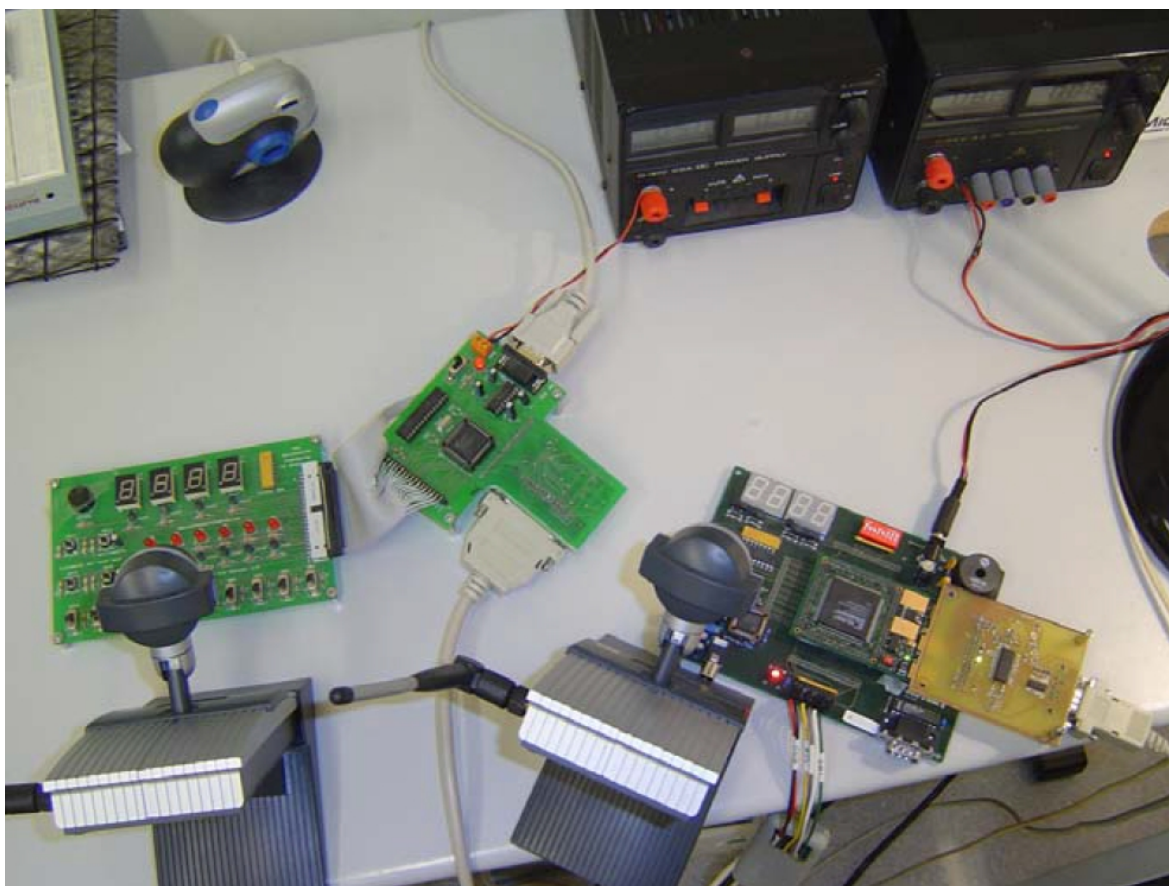
### **2.5.3 WebLab – Laboratorio Remoto Web 2.0**

Resulta interesante analizar el concepto WebLab, puesto que fue la primera área de estudio e investigación antes de evolucionar hacia arquitecturas de control orientadas a sistemas industriales en el desarrollo de la tesis doctoral. Los WebLabs tienen algunos puntos en común importantes con la arquitectura de control expuesta en la tesis, y hay que destacar que la Universidad de Deusto es una institución pionera en el desarrollo de estos sistemas (García Zubía y otros, 2007). De hecho, los WebLabs suelen ser diseñados pero en pocas ocasiones son puestos al servicio del alumno y de la comunidad investigadora, y los que son usados, pocas

## ***2. Estado del arte: antecedentes teóricos***

---

veces son contrastados en su calidad y resultados académicos. La Universidad de Deusto dispone de WebLabs con tecnología Web 2.0 utilizados en varias asignaturas, como Lógica Programable o Diseño Electrónico.



*Figura 2.12. WebLab de la Universidad de Deusto*

Un WebLab es un laboratorio remoto con la que un alumno puede interactuar con los diferentes elementos disponibles en un instituto o universidad (Alves, 2011). A través de un acceso mediante una página Web se puede conectar a las maquetas, tarjetas de entradas y salidas o instrumentación en tiempo real. La gran aportación educativa de un WebLab es que no es un simulador, sino un medio que permite al alumno una comunicación remota con hardware real de manera que la prueba y ejecución de los algoritmos es mucho más real. Otras ventajas asociadas al empleo de los WebLabs son un mejor aprovechamiento del equipamiento de los laboratorios, la facilitación de la organización del tiempo del estudiante o la integración de alumnos con discapacidades. También es un medio para que distintas universidades puedan compartir sus experiencias prácticas y así enriquecer el conocimiento de sus alumnos (Gustavsson y otros, 2009).

Los conceptos del WebLab que resultan interesante para el estudio del estado del arte de la tesis doctoral son la tecnología hardware, software, de comunicación y plataforma de desarrollo que emplea, ya que en ella se van a encontrar similitudes con la Arquitectura de Control Web 2.0 concebida. En cierto modo, se puede decir que esta tesis doctoral supone una evolución de los conceptos aplicables en el estado del arte actual del WebLab para su empleo en el mundo industrial, así como su puesta en práctica y evaluación respecto a las arquitecturas de control tradicionales.

### **2.5.3.1 Evolución de la Arquitectura del WebLab**

Debido a ciertas similitudes existentes entre la arquitectura del WebLab y la Arquitectura de Control Web 2.0 desarrollada en la tesis, resulta interesante analizar la evolución de la arquitectura de los WebLabs desde sus orígenes a principios de los años noventa, y los motivos que han originado la evolución del WebLab hacia tecnologías Web 2.0.

Las primeras arquitecturas de WebLab que fueron implementadas se basaban en programas desarrollados en lenguaje C, Basic o cualquier otro software propietario. La comunicación entre el programa informático y el hardware empleado en los experimentos del WebLab se realizaba mediante un simple socket, empleando librerías como SDLnet (García Zubía y otros, 2007). En esta arquitectura, el ordenador servidor del WebLab se comunicaba a través de un puerto serie, protocolo RS232 con los dispositivos hardware del laboratorio y también se empleaba un applet como el ActiveWebCam de la compañía Prysoft para poder observar en tiempo real el estado del laboratorio controlado remotamente.

Esta solución requiere que el usuario disponga de un programa instalado en el PC desde el que va a acceder al WebLab y tan sólo permite que el laboratorio sea utilizado por un usuario en cada momento. Desde el punto de vista de la seguridad, en el lado del servidor, el firewall debe ser configurado para permitir el tráfico sobre dos puertos no específicos en lugar de emplear puertos ya abiertos como el 80 para HTTP. En consecuencia, el WebLab no puede controlar los usuarios y no podía estar abierto al público, sólo está disponible para usuarios dentro de la misma LAN.

Para superar las dificultades inherentes a la primera versión de la arquitectura, que únicamente era útil a nivel demostrativo de las posibilidades del concepto WebLab, se desarrolló una segunda arquitectura con una evolución importante. El servidor pasa a estar constituido por tres elementos:

- El primero es un servidor Web Apache que contiene una aplicación Web controlando y visualizando Applets.
- El segundo es un servidor Python que se comunica a través del puerto serie con el hardware del WebLab.

- Y el tercero consiste en un servidor de broadcast para el envío de las imágenes de la Webcam que monitoriza el resultado del experimento ejecutado en el WebLab en tiempo real.

El programa cliente empleado por el usuario está desarrollado totalmente en Java, con lo que es accesible desde un navegador Web, siempre que tenga instalado un componente de lenguaje JAVA (Basante y García, 2013). La lógica del servidor también está preparada para permitir controlar el acceso a diferentes usuarios, así como controlar el tiempo de uso del laboratorio por cada usuario.

Esta arquitectura es una evolución muy importante del WebLab, de hecho permite el acceso al laboratorio remoto a los usuarios desde fuera de la LAN de la Universidad, pero aún presenta ciertos inconvenientes, sobre todo relacionados con la dependencia de los componentes de Java y su descarga por parte de los usuarios así como los problemas de seguridad de los puertos del servidor (Jaworsky y Perrone, 2001).

La siguiente evolución de la arquitectura del WebLab se desarrolla para solventar las dificultades de la arquitectura anterior y para incorporar las nuevas tecnologías Web que fueron desarrolladas en el marco de la Web 2.0. De esta forma, el nuevo WebLab emplea tecnologías como AJAX, Python, PHP o SOAP, que permiten una comunicación entre el programa cliente del usuario y el servidor mediante HTTP, con un sistema de seguridad firewall programado en AJAX. Este sistema tiene la ventaja de utilizar las herramientas disponibles en cualquier navegador Web como XHTML, DOM o JavaScript, sin necesidad de solicitar al usuario la instalación de ningún componente en el navegador.

La aplicación del cliente gracias a las tecnologías Web 2.0 tiene una gran evolución, ya que es una página web puramente HTML/JavaScript, siguiendo el modelo de interacción web de AJAX. Por ejemplo, si cambia el contenido de una zona de la página web, en vez de cambiar toda la página, tan sólo se cambia la parte modificada, siendo una interacción entre el cliente y el servidor. Esta tecnología aplicada es empleada de forma exitosa en aplicaciones como Gmail, Google Maps o Flickr. Una de las claves de esta tecnología es que los comandos de control, las respuestas y las imágenes son transmitidos de forma asíncrona, sin interrumpir la interacción del usuario con el sistema, por medio de objetos. El empleo de tecnologías Web 2.0 en esta evolución de la arquitectura del WebLab presenta importantes ventajas (García Zubía y otros, 2009), como el uso multiplataforma y multidispositivo de la solución o el empleo del puerto 80 para las comunicaciones.

La última evolución de la arquitectura del WebLab, consiste en el empleo del exitoso Web 2.0 combinado con el empleo de microservidores. Gracias a los

microservidores, esta nueva arquitectura también basada en plataforma Web con firewall seguro, presenta mejoras muy importantes como el acceso a N clientes conectados desde distintas plataformas a N laboratorios remotos distintos, cada uno de ellos identificado por la dirección IP proporcionada por el microservidor al cual se encuentra conectado.

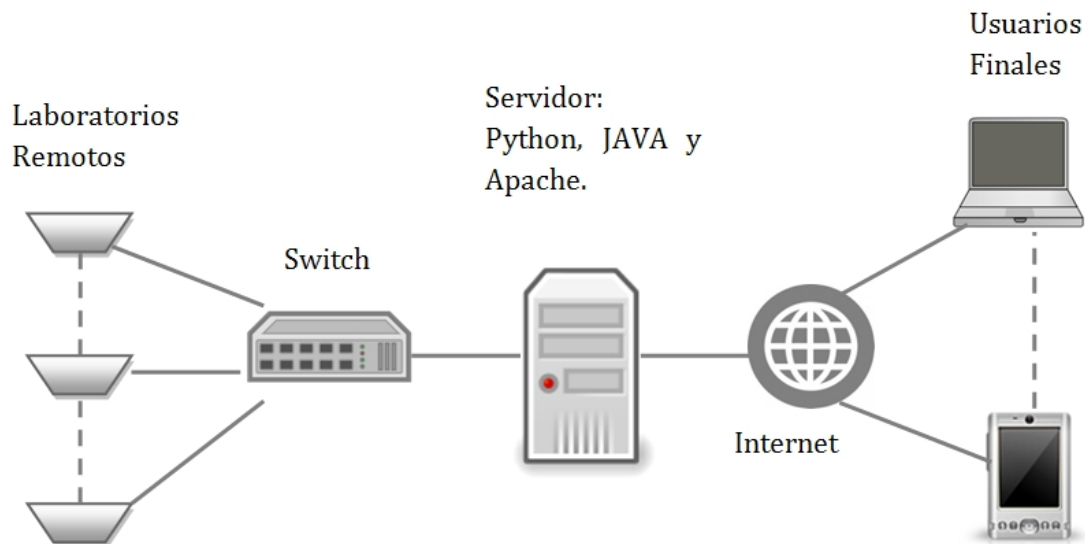


Figura 2.13. Cuarta versión de la arquitectura del WebLab, se emplean tecnologías Web 2.0 y surge el concepto de microservidor asociado al hardware del laboratorio.

La combinación de tecnologías software basadas en Web 2.0 con laboratorios hardware equipados con microservidores, parece ser el escenario más potente que puede establecerse en el estado del arte actual para el desarrollo de WebLabs flexibles y escalables (Gillet y Salzmann, 2011). Estas son algunas de las ventajas:

- El servidor WebLab deja de utilizar la comunicación serie RS232 con el hardware del laboratorio remoto, para utilizar una comunicación basada íntegramente en HTTP, usando una codificación de datos estándar como XML.
- Los microservidores posibilitan la creación de una red LAN de dispositivos hardware conectados al WebLab. Por esta razón, para la comunicación con el servidor se puede utilizar una red basada en Ethernet.
- Los prototipos electrónicos, experimentos y maquetas del laboratorio conectadas al microservidor también son capaces de intercambiar información entre ellos, ya que la información no sólo fluye entre cada maqueta y el servidor, sino también entre los propios experimentos gracias a los microservidores.

- El microservidor se encarga de gestionar el tiempo y controlar el equipo asignado al estudiante.

## **2.6 Sistemas de automatización en el sector de distribución farmacéutica**

En este Apartado se presentan los sistemas de automatización y control utilizados para dar solución a las necesidades tecnológicas para la distribución de productos farmacéuticos presentes en el estado del arte actual. Éste es el sector en el que la presente tesis industrial desarrolla su aportación diseñando una nueva arquitectura de control con microservidores, cuyo rendimiento y características han de ser contrastadas con las soluciones de automatización presentes en el mercado para dicho sector.

### **2.6.1 Necesidades de la industria de distribución farmacéutica**

La industria de la distribución farmacéutica es la encargada del almacenamiento de los medicamentos y productos parafarmacéuticos provenientes de los laboratorios para su reparto entre las farmacias y hospitales (OMS, 2002). En esta industria es muy importante el exhaustivo control en tiempo real del inventario y la rápida preparación de los pedidos (Fedifar, 2013). Por ejemplo, las farmacias van acumulando los pedidos de medicamentos que los pacientes realizan por las mañanas y no se encuentran en stock en la propia farmacia. Al mediodía, en torno a las dos de la tarde realizan un pedido agrupando toda la mercancía que necesitan y que requieren que sea repartida a primera hora de la tarde, en torno a las cuatro y media, cuando vuelven a abrir al público y esperan la llegada de los pacientes para retirar estos fármacos.

En una provincia media coexisten cientos de farmacias que realizan simultáneamente estos pedidos que son recibidos por los distribuidores de medicamentos y deben preparar en un intervalo de unas pocas horas. Esto significa que hay que servir decenas de miles de productos en unas pocas horas y distribuidos entre miles de pedidos. Este nivel de servicio sólo es posible con una correcta automatización del proceso de preparación de pedidos, ya que el rendimiento típico de un humano está en torno a las siete líneas de preparación de pedido por minuto, y son necesarios ratios superiores a ciento cincuenta líneas de pedido por minuto.

También hay que destacar la importancia de la no tolerancia de errores en este sector, lo que hace la aplicación aún más crítica. Al ser productos farmacéuticos que pueden ir destinados a un hospital para una operación o para un paciente enfermo, no hay opción a enviar la medicación incorrecta al hospital o farmacia. Por este

motivo, el sistema de automatización debe ser capaz de ejecutar rápidamente la preparación de los pedidos y garantizar la ausencia de errores durante este proceso.

Una dificultad añadida para todo el sector de distribución farmacéutica, que afecta a la gestión de los stocks tanto en almacenes como en farmacias, son los requisitos de la última ley de sanidad a nivel de trazabilidad (Fuentes del Río, 2006), que exige un control específico de los lotes y fechas de caducidad. En un almacén pueden coexistir mismos medicamentos pero de distintos lotes.

Además de las tareas específicas de preparación de los pedidos, el sistema de control también interviene de forma importante en otras tareas imprescindibles para el funcionamiento logístico global de la empresa. Por ejemplo, debe comunicar en tiempo real sus operaciones para mantener actualizado el inventario y poder emitir en un intervalo corto de tiempo una gran cantidad de facturas. También debe facilitar el proceso de reposicionamiento de la mercancía que es dispensada para que pueda estar preparada para ser servida automáticamente en los posteriores intervalos de preparación. Todos estos datos deben ser intercambiados con el ERP de la empresa (O Learly, 2004) para que de forma conjunta el sistema de gestión y de control permitan preparar los pedidos sin errores y llevar una correcta política de compra de mercancía.

La flexibilidad del sistema de control también es otra necesidad importante, debido a la rotación estacional de ciertos productos farmacéuticos, así como la aparición de otros nuevos. Otro suceso habitual es la retirada mensual de ciertos fármacos o lotes específicos de algunos de ellos, que son comunicados por parte de las agencias sanitarias. El sistema de control debe permitir un tratamiento sencillo de todas estas variables nuevas que deben ser reconfiguradas dentro del proceso para que se adapte a los cambios permanentes.

### ***2.6.2 Automatización de la preparación de pedidos en distribución farmacéutica***

Para la preparación de pedidos con los requisitos de velocidad y control de errores que han sido explicados, la industria de distribución farmacéutica utiliza máquinas que se encargan de la preparación de los pedidos, con características diferenciadas si nos referimos a los sistemas para almacenes y a los sistemas para farmacias.

En los almacenes hay soluciones automáticas y semiautomáticas. Las soluciones automáticas se basan en sistemas dispensadores que lanzan los productos automáticamente desde unos carriles para que puedan ser recogidos a través de cintas transportadoras que se encargan de su introducción en las cajas de preparación de pedidos. En el estado del arte actual se encuentran dos tipos de máquinas, unas basadas en carriles verticales y otras en carriles inclinados.



*Figura 2.14. Los dispensadores de columna vertical ocupan un gran espacio en el almacén en relación producto automatizado / superficie requerida.*

Las máquinas con carriles verticales disponen los productos almacenados en columnas de forma que siempre es dispensado el producto que se encuentre en la

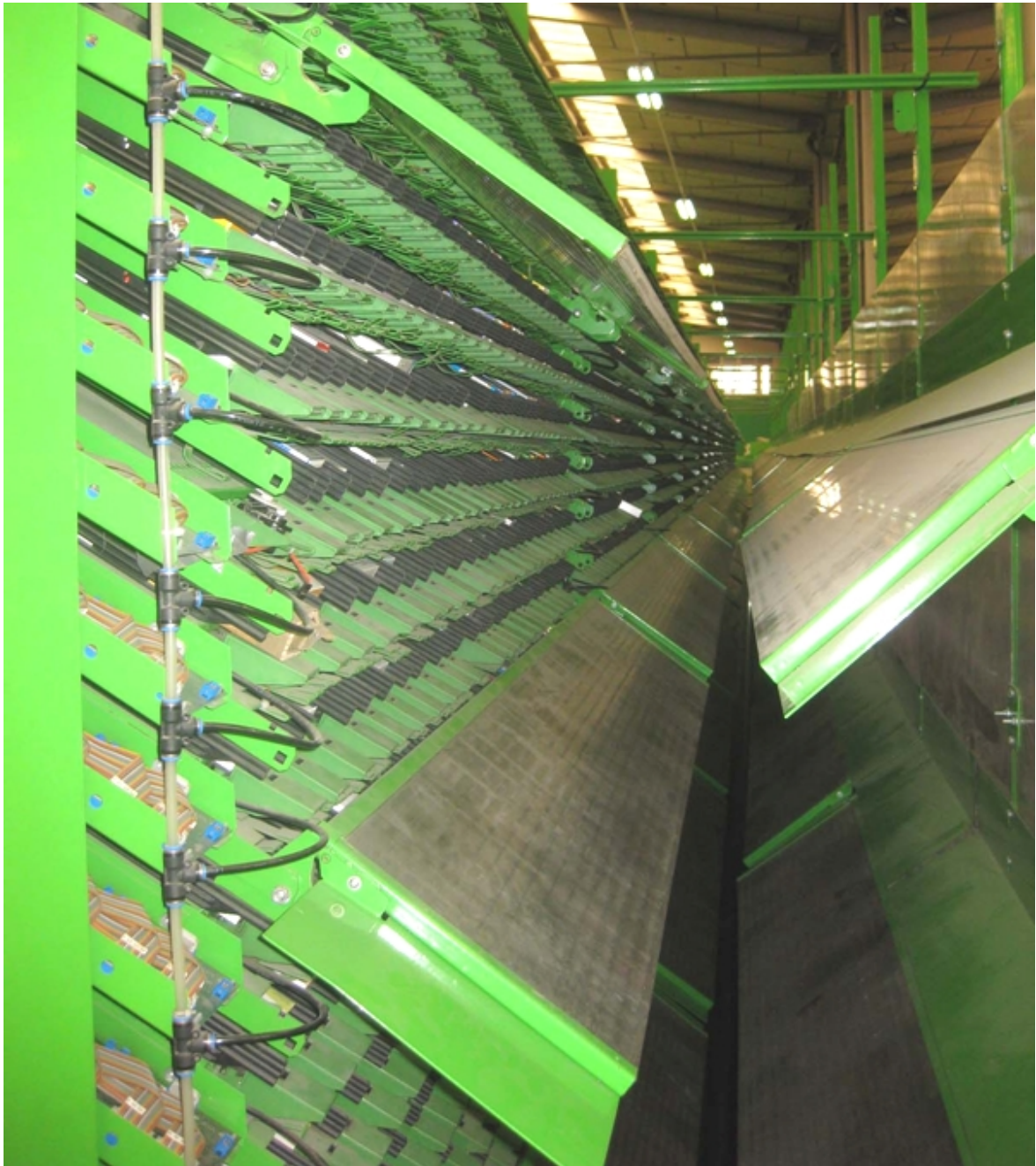
posición inferior de dicha columna, a través de un mecanismo eyector con cadena o correa. Este sistema requiere un gran espacio para su instalación y cintas transportadoras de gran longitud. El motivo es que en un almacén medio conviven entre 30.000 y 50.000 referencias de producto y esto requiere la automatización de muchos miles de medicamentos. Si el ancho habitual de un carril de un dispensador vertical es de 10 cm, necesitamos 50 metros de cinta transportadora para automatizar 1.000 referencias, ubicando 500 carriles a cada lado de la cinta.

En España existen 90 centros de distribución farmacéutica, con una media de de 2.000 referencias automatizadas, lo que implica menos del 10% del total de referencias del almacén, si bien los productos automatizados son los productos de mayor rotación. Cabe señalar que los grandes almacenes tienen automatizadas hasta 8.000 referencias pero que por el contrario la mayoría de los almacenes de pequeña distribución no tienen ningún tipo de automatización. A nivel de automatización de oficinas de farmacia, las soluciones automáticas tan sólo se encuentran en el 2% de las farmacias españolas.

Como se ha comentado anteriormente, las recientes leyes de trazabilidad complican mucho las necesidades de automatización ya que en el carril de un dispensador no pueden convivir productos de misma referencia pero con distinto lote. Esto requiere habilitar un carril del dispensador por cada lote distinto de producto, lo que conlleva a aumentar el número de carriles y dificulta enormemente las tareas de automatización en columnas de dispensadores verticales por el enorme espacio que ocupa este sistema. Esta problemática se vería minimizada con la incorporación de sistemas de identificación RFID en cada producto (Huang, Zhifeng, Ting y Qingyun, 2010), pero la industria farmacéutica no está aún en disposición de asumir este coste.

El otro tipo de sistema dispensador disponible en el estado del arte actual consiste en máquinas con estructuras subdivididas en carriles inclinados en los que se van cargando los medicamentos, colocando uno detrás de otro en cada uno de estos carriles. La inclinación de cada carril es regulable por baldas y oscila entre los 20° y los 30°. Los carriles se distribuyen en baldas que pueden estar a distintas alturas, aumentando la densidad de productos automatizados por cada metro de cinta transportadora encargada de su recogida.

Son necesarios tantos carriles como referencias de medicamento se quieran automatizar. La longitud de los carriles varía entre 2 y 3 metros habitualmente, y en ciertos casos debido a la alta rotación de los medicamentos es necesario utilizar varios carriles para una misma referencia. Hay que considerar que siempre hay ciertos productos que por razones de volumen, peso, temperatura o fragilidad deben quedar fuera de la máquina y ser servidos manualmente por los operarios.



*Figura 2.15. Dispensadores de balda inclinada con accionamiento neumático.*

Cada carril instala un sensor y un actuador neumático en su extremo. De este modo, cuando se recibe un pedido es transmitido a los autómatas de control que gobiernan la máquina y proceden a la activación de las electroválvulas y a la lectura de los sensores para comprobar si el pedido ha sido correctamente preparado. Cuando los medicamentos salen de cada uno de los carriles, caen a una cinta transportadora que

se encarga de recogerlos y llevarlos hacia una cubeta de plástico o caja de cartón en el que serán introducidos.

Todo el cableado de los sensores y la distribución de aire comprimido es llevado por las estructuras de la máquina hasta grandes cuadros de control en el que todas las señales son cableadas y conectadas a los autómatas. También es necesaria una sala de compresores que genere el aire comprimido necesario para toda la instalación.

Cabe señalar que estas máquinas disponen de sensores sólo en la parte posterior de los carriles, es decir, el autómata puede detectar el contaje de los medicamentos que son extraídos pero no sabe antes de realizar la activación de la electroválvula la presencia o ausencia de productos en el carril. Esta información sería deseable especialmente en el caso de los productos con multicarriles, ya que se podría realizar el reparto del pedido entre los carriles en función del nivel de carga existente en cada uno de ellos.

En ambos tipos de sistemas dispensadores del estado del arte actual, columnas verticales o baldas inclinadas, la transmisión de los pedidos desde el programa de gestión de la empresa al sistema de control se realiza mediante interfaces de intercambio de ficheros entre el servidor de gestión de la empresa y los ordenadores servidores específicos del sistema de control. A su vez, estos servidores se encargan del manejo de la red industrial mediante la que establecen la comunicación con los autómatas que deben recibir las órdenes a procesar para manejar los miles de sensores y electroválvulas.

Para realizar la configuración de los carriles y demás tareas de mantenimiento, se dispone de una aplicación específica que es instalada en un ordenador en la planta industrial y cuyo manejo está destinado fundamental al jefe de almacén y jefe de mantenimiento. Esta aplicación permite dar de alta o baja productos, sacar informes estadísticos y supervisar el estado de funcionamiento de la instalación.

Cuando se produce un error en un carril automático durante el proceso de preparación de pedidos, la caja que contiene dicho pedido incompleto debe ser desviada del circuito principal de movimiento de cubetas, para dirigirse a un carril de error. En dicho carril, un operario debe asistir manualmente el error mediante la recogida de una hoja de error generada a través de una impresora destinada a la notificación de errores, o mediante el escaneo de la cubeta con un ordenador de mano tipo PDA para reconocer el pedido e identificar la mercancía faltante. La metodología correcta de trabajo implica que cuando un dispensador genera un error, hay que subsanar el error en el pedido y revisar el carril causante del fallo para evitar que vuelva a producirse.

Cabe destacar que no es posible ni útil separar el modo de funcionamiento de los sistemas automáticos de dispensación del entorno del software de gestión y manejo de pedidos global del almacén, ya que hace falta una integración total de los sistemas de dispensación automática con el resto de procesos de la empresa para dar sentido a la automatización. Los procesos de facturación, compras de mercancía o gestión de rutas van a requerir una sincronización y compartición de información en tiempo real con los dispensadores, que marcan el ritmo del almacén y de los procesos de distribución. Por este motivo, es necesario un enfoque global del entorno software en el que se incluye la arquitectura de control objeto de la tesis.

A modo de resumen, el sistema de control actual que es empleado en esta industria de distribución farmacéutica se basa en la combinación de los siguientes elementos conforme a una arquitectura clásica de control centralizada:

1. Autómatas industriales como elementos principales de control. Se encargan de la gestión de todas las señales de sensores y actuadores para la preparación de los pedidos.
2. Gran cuadro de control, al que llevar el cableado que es distribuido por toda la máquina, que tiene habitualmente varias centenas de metros de longitud para distribuir los miles de carriles.
3. Tecnología neumática para realizar el accionamiento de las válvulas que dispensan los medicamentos y necesidad de una habitación de compresores en la que generar el aire comprimido.
4. Servidor informático de control con el que dialogar con el servidor de la empresa mediante interfaces de intercambio de ficheros.
5. Redes de control industriales propietarias para el intercambio de información entre el servidor de control y los autómatas industriales.
6. Aplicación informática de escritorio para la ejecución del programa de supervisión y configuración del sistema de control.
7. Equipos adicionales para permitir las tareas de telemantenimiento y acceso remoto al sistema de control.

A nivel internacional hay pocas compañías que dispongan de la capacidad tecnológica para afrontar este tipo de instalaciones que conllevan a su vez inversiones de cientos de miles o millones de euros por parte de los clientes. En la Tabla 2-2 se muestran los tres principales fabricantes a nivel internacional de soluciones de automatización para el sector de distribución farmacéutica, siendo SSI-Schäfer la empresa líder. El estudio comparativo que es presentado en el Capítulo 4 entre una solución clásica y la nueva solución propuesta está realizado en comparación con una línea automática de este fabricante.

## 2.6. Sistemas de automatización en el sector de distribución farmacéutica

Tabla 2-2. Principales fabricantes internacionales de sistemas de automatización para la logística del sector de distribución farmacéutica mediante dispensadores automáticos.

<b>SSI - Schäfer</b>	<a href="http://www.ssi-schaefer.es/sistemas-logisticos/preparacion-automatizada-de-pedidos/sistemas-automatizados-de-preparacion-de-pedidos.html">http://www.ssi-schaefer.es/sistemas-logisticos/preparacion-automatizada-de-pedidos/sistemas-automatizados-de-preparacion-de-pedidos.html</a>
<b>KNAPP</b>	<a href="https://www.knapp.com/pharma">https://www.knapp.com/pharma</a>
<b>TGW Group</b>	<a href="http://www.tgw-group.com/es-es/sectores/industria-farmaceutica/">http://www.tgw-group.com/es-es/sectores/industria-farmaceutica/</a>

Existen otras soluciones robóticas para la automatización de estos procesos de recogida de productos que están más orientadas a pequeños almacenes, lo que facilita su uso en oficinas de farmacia u hospitales (Tejada, 2011). Este tipo de soluciones consisten en robots cartesianos que se van desplazando sobre unas guías ubicadas horizontal y verticalmente delante de las estanterías en las que se encuentran los artículos. El robot manipulador realiza un movimiento sobre estas guías hasta colocarse delante del artículo seleccionado, para proceder a su extracción o depositado.

Estos robots pueden resultar lentos, para ciertos almacenes con gran volumen de artículos en dispensación, ya que el robot sólo puede extraer los productos de uno en uno, hasta completar el pedido y depositarlos en el punto de recogida. La instalación de estos robots en los comercios especializados o farmacias resulta compleja por el gran volumen, alto consumo eléctrico y peso del robot manipulador por ejes cartesianos. Asimismo, estos robots requieren un mantenimiento complejo y caro, así como un apantallamiento, mediante cristalerías u otros medios, de la zona de funcionamiento del manipulador robótica, tanto por el nivel de ruido de las máquinas como por el riesgo de provocar lesiones o daños físicos en caso de golpear a una persona durante sus desplazamientos (Barrett, Oborn, Orlikowski y Yates, 2011).

Debido a la instalación de seguridad inherente a este tipo de robots manipuladores, también suele ser necesario que el comercio u almacén disponga de un stock de seguridad de ciertos artículos, previniendo una posible avería del robot manipulador, ya que, por motivos de seguridad, no existe acceso para las personas al stock manipulado por el robot (Franklin y otros, 2008).

Esto implica que todas las empresas fabricantes de estas soluciones necesitan ofrecer a sus clientes servicios post-venta y de mantenimiento con un alto índice de respuesta, de manera que ante cualquier avería pueda existir un diagnóstico remoto y habitualmente el desplazamiento de un técnico a la instalación en unas pocas horas. Estos contratos también suponen un importante coste añadido a la instalación para los clientes.



Figura 2.16. Dispensador basado en manipulador con ejes cartesianos. Al realizar las tareas una a una, es adecuado para farmacias, no para almacenes de distribución.

En la Tabla 2-3 se muestran los principales fabricantes a nivel mundial de soluciones de automatización de medicamentos basados en manipulador, siendo ROWA la empresa líder, y contra quien se ha realizado la comparativa tecnológica con la solución propuesta en la tesis industrial en el Capítulo 4.

Tabla 2-3. Principales fabricantes internacionales de sistemas de automatización para la logística del sector de distribución farmacéutica mediante dispensadores automáticos.

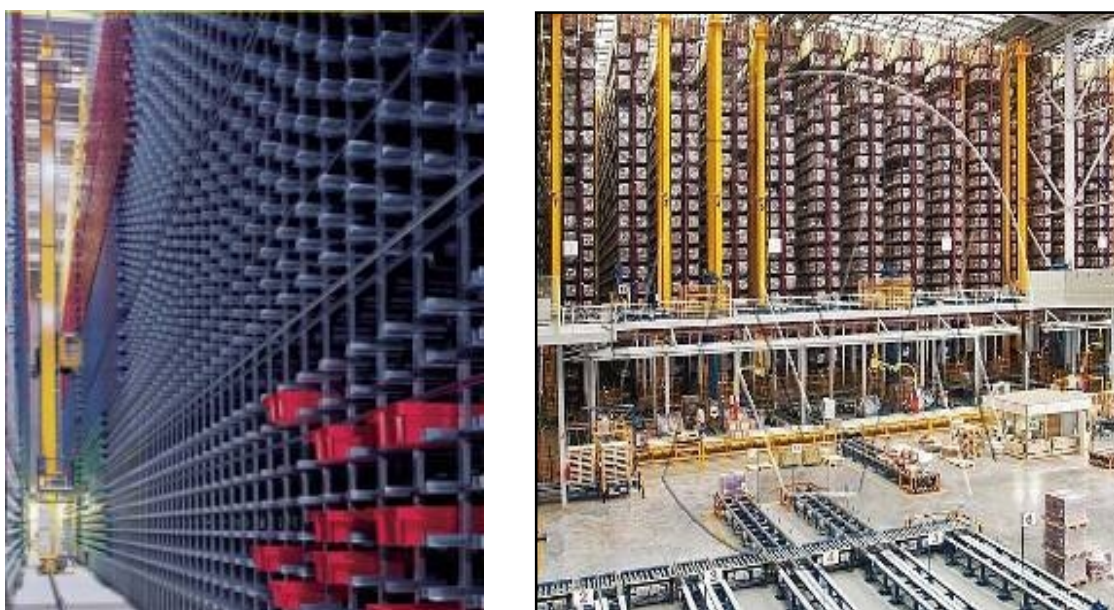
<b>ROWA Technologies</b>	<a href="https://www.rowa.de/en/">https://www.rowa.de/en/</a>
<b>Apoteka</b>	<a href="http://www.apoteka.eu/our_websites.php">http://www.apoteka.eu/our_websites.php</a>
<b>Pharmatek</b>	<a href="http://www.pharmatek.com">http://www.pharmatek.com</a>
<b>Tecnyfarma</b>	<a href="http://www.tecnyfarma.com/automatizacion/">http://www.tecnyfarma.com/automatizacion/</a>
<b>FarmaNitran</b>	<a href="http://farmanitram.com/r-evolution/">http://farmanitram.com/r-evolution/</a>
<b>3ar</b>	<a href="http://www.3ar.es/category/blog/robot-farmacia/">http://www.3ar.es/category/blog/robot-farmacia/</a>
<b>KLS System</b>	<a href="http://kls-system.es">http://kls-system.es</a>

## ***2.6. Sistemas de automatización en el sector de distribución farmacéutica***

Algunas soluciones tecnológicas para los almacenes de distribución emplean máquinas automáticas basadas en robots manipuladores que se desplazan por guías frontalmente a las baldas para realizar la extracción o deposición de objetos utilizando un elemento actuador (Trueba, 2013), siendo una solución de similares características a la presentada para la automatización de la farmacia.

El uso de estos robots en los almacenes también presenta inconvenientes. Además de su alto coste, el material almacenado se debe introducir en cajas o unidades de embalaje que puedan ser manipuladas por el robot. En algunas instalaciones, el material manipulado por el robot es extraído o colocado directamente sobre paletas.

Otra problemática consiste en que las personas ya no pueden acceder manualmente a los productos del almacén, quedando todos los procesos detenidos en caso de avería de la máquina o fallo en el suministro de energía. Estos almacenes son apropiados para grandes operadores logísticos pero no se adecúan a su uso en la distribución farmacéutica por los altos requisitos de velocidad de pedidos en intervalos cortos de tiempo.



*Figura 2.17. Solución de almacenamiento automático con robots grúa para automatización de almacenes.*

### **2.6.3 Sistemas para el reposicionamiento de productos en distribución farmacéutica**

Los procesos de reposición de artículos u objetos que se realizan habitualmente en la mayoría de almacenes farmacéuticos, son llevados a cabo de forma manual, empleando uno o varios operarios que recorren el almacén en busca de los distintos productos o ubicaciones, empleando para ello ordenadores portátiles de mano, tipo PDA, mediante los cuales el operario puede acceder a una base de datos en la que se muestra información referida a la ubicación en la que se encuentran los productos en el interior del almacén (Trueba, 2010).

Los productos del almacén se distribuyen en estanterías compuestas de varios niveles de baldas. Las estanterías y las baldas del almacén suelen estar distribuidas siguiendo un determinado orden, como categorías de productos o códigos numéricos o alfabéticos. En la mayoría de almacenes farmacéuticos donde los productos son repuestos manualmente se procede a una ordenación de los mismos por familias, si bien este criterio no es el más óptimo desde el punto de vista de rotaciones de productos, lo que realmente es determinante para la mejora del aprovechamiento del tiempo.



*Figura 2.18. Las soluciones tradicionales con PDA ayudan a la gestión, pero no ayudan de forma óptima a la localización y tránsito de los productos por el interior del almacén.*

## 2.6. Sistemas de automatización en el sector de distribución farmacéutica

Los sistemas para recogida y reposicionamiento de productos, conocidos como "pick-to-light" y "put-to-light", consisten en unas unidades electrónicas con display y pulsador que son colocadas de forma distribuida por las estanterías de un almacén, colocando encima de cada unidad una caja que contiene productos (Qinghua y otros, 2010). Con estos sistemas los operarios trabajan en zonas, y se emplean cubetas que se mueven automáticamente por los distintos puestos de los operarios a través de transportadores de rodillos, de modo que cuando una cubeta llega a un operario, éste la escanea para que las unidades electrónicas de las baldas indiquen mediante el display el número de unidades de producto que hay que extraer o reponer de cada caja.

Cuando la operación finaliza, se accionan los pulsadores de cada unidad electrónica que haya sido activada. Cabe destacar que estos sistemas requieren cablear todas las conexiones entre las unidades electrónicas con display y pulsador a un sistema de control. Además, sólo pueden utilizarse para productos almacenados en cajas y ocupando un cierto volumen y no solucionan el problema del guiado de un operario desde cualquier punto de un almacén hasta un producto concreto. Estos sistemas basados en displays tampoco permiten reconfigurar dinámicamente el espacio ocupado por los productos, ya que el número de unidades que pueden ser instaladas en cada estantería es limitado.



*Figura 2.19. Soluciones tecnológicas pick-to-light y put-to-light del estado del arte actual para localización de productos en un almacén.*

## ***2. Estado del arte: antecedentes teóricos***

---

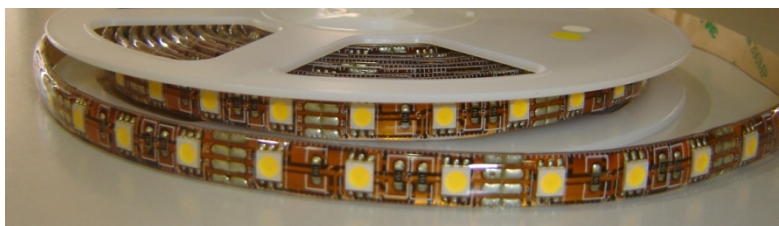
Una problemática asociada a la disposición de los productos en los almacenes farmacéuticos, consiste en que hay que prever espacios libres para la ubicación de nuevos artículos que deban ser ubicados en zonas alfabéticas o numéricas concretas. Esto conlleva que los espacios de las baldas de las estanterías no puedan ser utilizados en su totalidad, debido a la previsión de espacios.

Un sistema inteligente de luces o indicadores luminosos para la ayuda al desplazamiento de cada operario por el almacén, la localización exacta de cada producto o ubicación en las baldas y la ayuda a la gestión de los espacios en las estanterías, como es explicado en la presente tesis, no puede ser implementado con ningún sistema de iluminación disponible en el estado del arte actual, o al menos sin unos requisitos de cableado y control de gran dificultad.

Existen diodos led o barras de diodos led que resultan apropiados para iluminar cada posible ubicación de un producto en una de las baldas de una estantería de un almacén. Sin embargo, el empleo de leds o barras de leds convencionales distribuidos en todas las estanterías y baldas de un almacén necesitan un sistema electrónico de control con una capacidad de manejo de miles de señales independientes y conllevaría un cableado con tal cantidad de conexiones distribuidas por las baldas que su implementación y coste resulta inviable.

Una presentación actual de los diodos led consiste en rollos autoadhesivos de varios metros que disponen de un diodo led cada varios centímetros. Es posible cortar la tira de leds por cualquier lugar del rollo, obteniendo como resultado un conjunto de diodos led que pueden ser iluminados al aplicar tensión en un punto de la tira. Todos los diodos leds de esta tira cortada se encienden o apagan a la vez y necesitan llevar cables hasta su punto de instalación para que puedan ser utilizados.

En este caso, sí se puede adaptar el tamaño de cada conjunto de leds al tamaño de cada producto de una balda, pero el cableado necesario para su instalación y la complejidad de la unidad de control de los leds hace su puesta en práctica para el objeto de este proyecto muy costosa y compleja. Otro aspecto importante que no se resolvería con este sistema consiste en el cambio de configuración ante la modificación del tipo de producto en las baldas, ya que podría no ser coincidente el tamaño de las tiras de leds y cableados colocados inicialmente en la instalación con el de los nuevos productos a ubicar en las baldas.



*Figura 2.20. Leds autoadhesivos en tiras, no permiten control individual de cada led iluminado.*

## 2.7 Patentes industriales del estado del arte

En este apartado se analizan patentes que pueden tener importancia en su análisis para la comparativa con los sistemas microelectrónicos y mecánicos que deben ser concebidos en la tesis para poder aplicar una arquitectura de control distribuida y basada en microservidores. Dichas patentes pueden tener ámbito de aplicación en los procesos de automatización farmacéutica. Se presentan ciertas patentes que por las características de sus sistemas o funcionalidades a las que están destinadas pueden tener cierta relevancia, dado que algunas de ellas han sido las escogidas por las oficinas de patentes encargadas del análisis del grado de innovación industrial de las invenciones generadas por esta tesis.

### 2.7.1 Patentes para la dispensación de productos

La patente de Estados Unidos número US 5141128 (Pippin, 1991) muestra un tipo de dispensador vertical que puede depositar productos sobre una cinta transportadora, de forma que múltiples dispensadores verticales puedan accionarse de forma simultánea en una instalación para proceder a la deposición de los productos. Este sistema requiere de un mecanismo que ocupa un volumen superior al del tamaño de los productos que son albergados y la reposición debe realizarse de forma manual sin la ayuda de dispositivos indicadores, siendo muy compleja su instalación en comercios especializados.

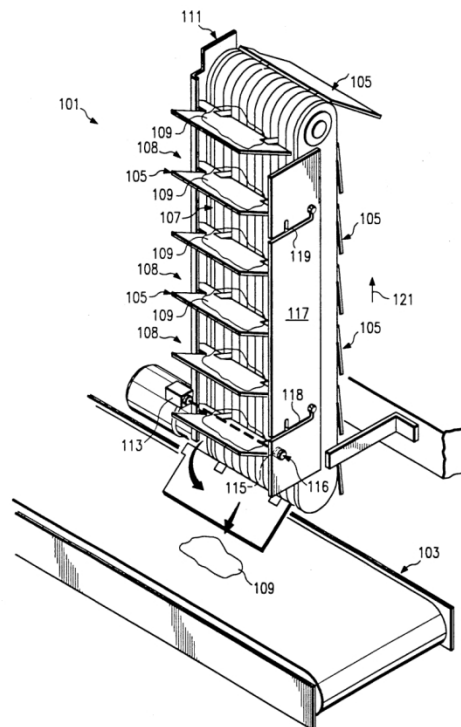


Figura 2.21. Dispensador de la patente US 5141128.

Otra patente de aplicación para la dispensación de productos, como la patente europea EP 1357526 A2 (Tamura, 2003), muestran un sistema en el que los productos de cada tipo se albergan en una balda horizontal dispuesta de unos separadores y que es accionada por un mecanismo que se desplaza hasta accionar la balda para proceder a la salida de un producto.

Este sistema debe realizar la dispensación de artículos de diverso tipo de forma individual, al disponer de un elemento accionador único que se desplaza por las diversas baldas horizontales. La mayoría de los sistemas de dispensación con estas características están más orientados al desarrollo de máquinas lentas de dispensación, tipo vending, que a la automatización de procesos de almacenaje automático con grandes requisitos de volumen de productos y velocidad.

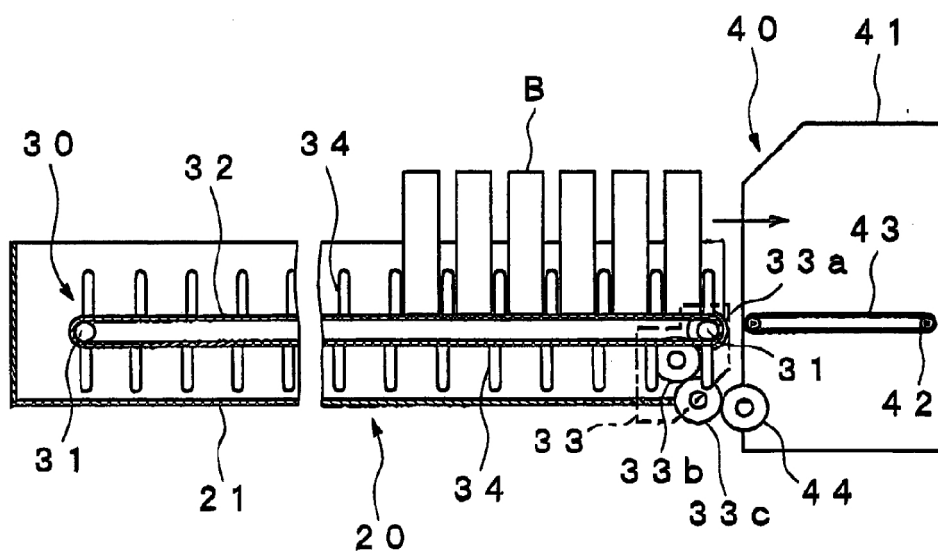


Figura 2.22. Dispensador de la patente EP 1357526 A2.

Existe una gama de sistemas de dispensador de medicamentos basados en mecanismos extractores que disponen de dedos accionados por cilindros neumáticos y un sistema de movimiento mediante unidades lineales para la búsqueda y posicionamiento del manipulador en el carril a realizar la extracción. Por ejemplo, la patente WO2004036516 (Pascal, 2002) mostrada en la Fig. 2.23 consta de dichos elementos particularizados con una mecánica específica.

Cabe destacar que este tipo de máquina extractora de medicamentos, a diferencia de los sistemas basados en mecanismos individuales por cada producto o carril a extraer, son mucho más lentos debido a que no pueden realizar la extracción simultánea de varios carriles, el manipulador necesita realizar desplazamientos consecutivos.

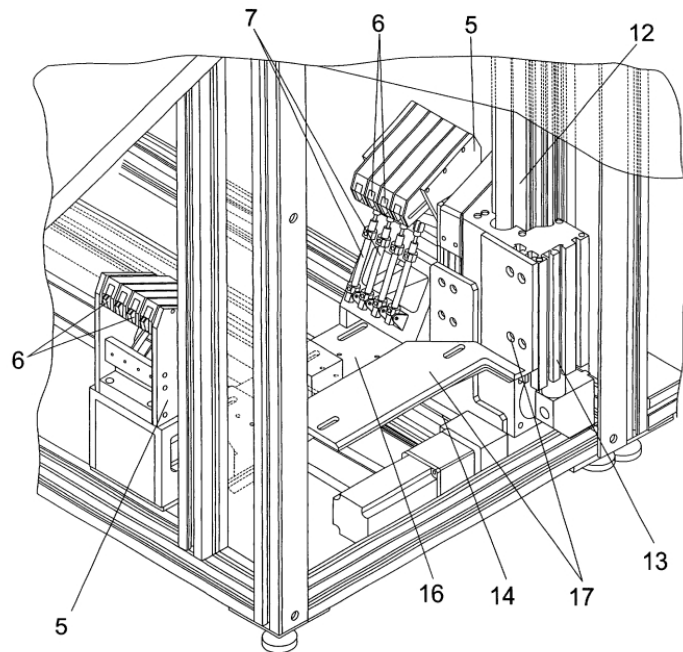


Figura 2.23. Dispensador de la patente WO2004036516.

La principal aportación de estos sistemas consiste en que el propio elemento manipulador puede realizar tareas de reposicionamiento de los productos además de la dispensación, facilitando de esta forma la gestión y control del stock del almacén. Se trata de máquinas complejas que requieren un mantenimiento exhaustivo para su correcto funcionamiento debido a las altas velocidades de desplazamiento que manejan.

### 2.7.2 Patentes de manejo de conjuntos de leds

No existen muchas patentes para la gestión inteligente de múltiples puntos de iluminación LED y sin necesidad de cableados. La patente europea EP 1006759B1 (Lori, 2005), *sistema para controlar el funcionamiento de una instalación de iluminación o un equipo de señalización que tiene una pluralidad de puntos de luz tipo LED o similar*, muestra un sistema de control de diodos led.

Este sistema de control permite el encendido de conjuntos de leds conectados en serie, pero necesita cablear la instalación de los diodos leds hasta el lugar en el que se ubica la unidad de control y no existe un control individual del encendido de cada led. Este sistema, como otros parecidos y empleados en el estado del arte actual de control de conjuntos de leds, manejan conjuntos de diodos led conectados en serie y al necesitar una unidad central para el control de los encendidos, siempre

está limitado a un número específico el máximo de canales de leds que pueden ser manejados desde la unidad electrónica de control.

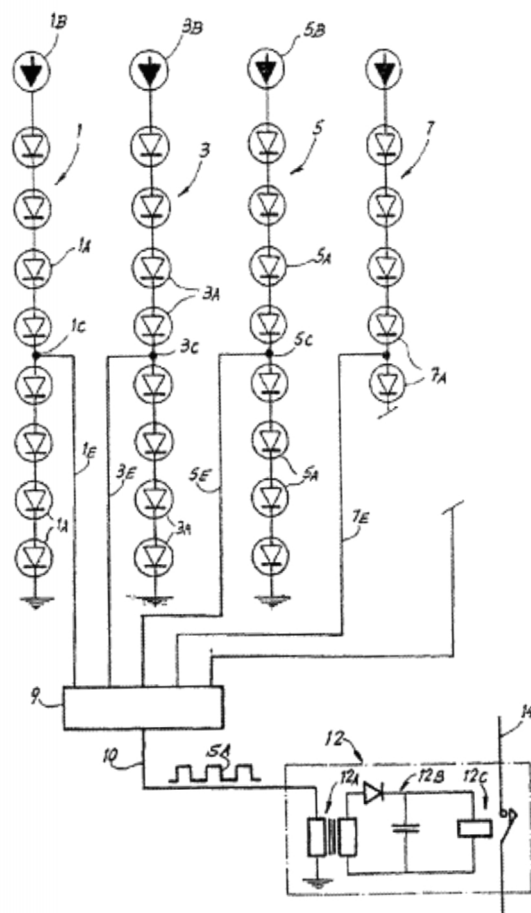


Figura 2.24. Dibujo conceptual del desarrollo de la patente europea EP 1006759B1.

La patente ES 1067877 (Hoffmann, 2011), *dispositivo de iluminación por barra de diodos LED*, muestra un sistema de iluminación basado en varios diodos led que son instalados en forma de línea. Los diodos que forman este sistema de iluminación no pueden ser encendidos o controlados de forma individual, y su empleo en un sistema luminoso para el guiado y localización de productos necesitaría llevar varios cables desde cada barra de leds hasta el sistema de control de diodos.

Teniendo en cuenta que cualquier almacén de tamaño medio requiriera miles de barras de leds con su cableado independiente y que los diversos tamaños de los productos no se adaptarían de forma óptima al tamaño de esta barra de diodos, hace su instalación para un sistema como el acometido en este proyecto inviable.

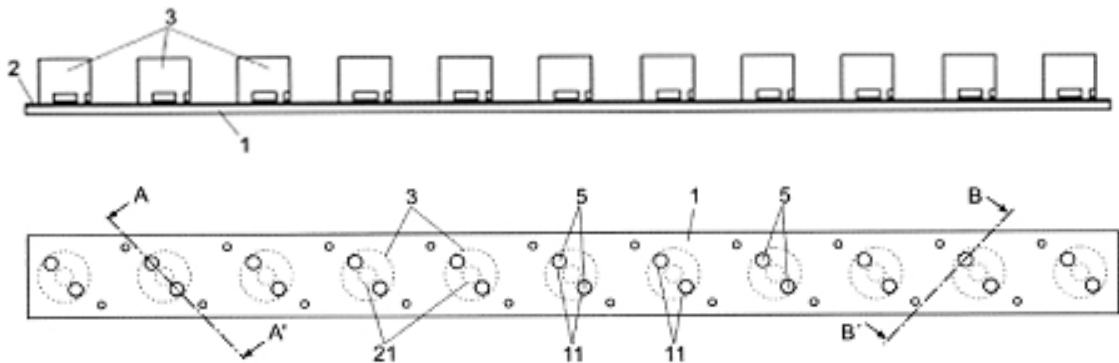


Figura 2.25. Imágenes extraídas del modelo de utilidad 1 067 877 (dispositivo de iluminación por barra de diodos LED).

La patente US 2004088229 (Yongjie, 2004) presenta un sistema de dispositivos luminosos distribuidos por las estanterías de una instalación cuyo cometido sería de similares características que el sistema de microservidores leds que será expuesto en la tesis. Sin embargo, desde el punto de vista constructivo y método de instalación existen importantes diferencias que hacen inviable el uso de dicha patente para su aplicación en máquinas de dispensación automática. La patente se basa en el empleo de equipos electrónicos basados en leds que son distribuidos por la estantería realizando conexiones de cables en bus entre cada elemento. El tamaño de los equipos es siempre el mismo, por lo que el sistema no podrá ser aplicado a los dispensadores debido a que en ellos los carriles son de tamaño variable, a la vez que no permiten el empleo de cableados por el alto número de productos juntos en un corto espacio de estantería.

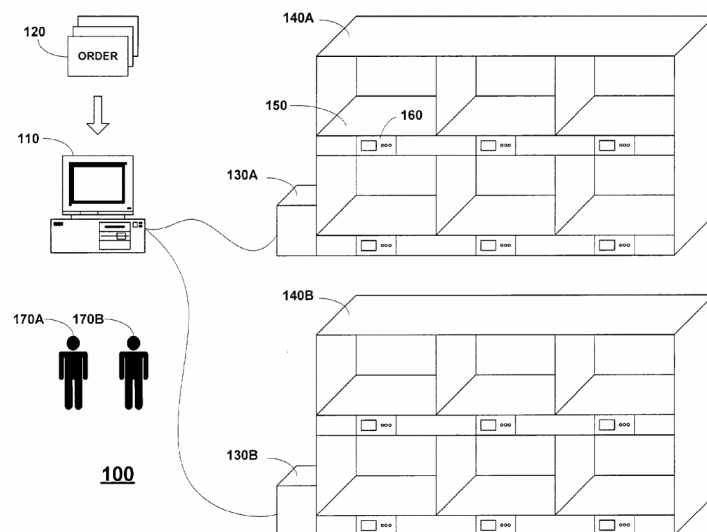


Figura 2.26. Patente US2004088229 para la señalización visual de productos en estanterías

## **2.8 Retos tecnológicos en la automatización de la logística farmacéutica**

Tras el análisis del estado del arte de los sistemas de control y su aplicación específica al sector de automatización de los procesos logísticos de la industria farmacéutica, se han identificado una serie de necesidades tecnológicas que es necesario abordar por cualquier solución que pretenda aportar una innovación o mejora a aplicar en el sector. En este apartado se muestran los retos identificados para la mejora de los procesos de automatización en la logística del sector farmacéutico tanto a nivel tecnológico como de parámetros de eficiencia y eficacia. Estos baremos servirán en capítulos posteriores para evaluar la funcionalidad y eficiencia de la solución propuesta en la tesis y su comparación con el funcionamiento de las soluciones de las empresas líderes para dicho sector.

Adicionalmente al estudio teórico de los sistemas presentes en el mercado y estudio de patentes, conforme a la metodología seguida en la tesis, se ha realizado una recogida de información adicional a través de cuestionarios y entrevistas a los profesionales del sector farmacéutico. El objetivo es conocer ciertos aspectos del estado del arte actual en las soluciones de automatización desde el punto de vista del usuario final. En concreto se entrevistó tanto a profesionales de almacenes de distribución farmacéutica en puestos de gerencia, informática o mantenimiento, como a propietarios y empleados de oficinas de farmacia.

Los resultados de estas entrevistas, treinta en total, son mostrados en la Tabla 2-4, en la que se indica tanto la media como la desviación para cada cuestión planteada. El análisis de los cuestionarios muestran una necesidad clara de mejora en las soluciones de automatización que actualmente son aplicadas en el sector, al no existir un grado de satisfacción elevado que impida la presentación de alternativas en el mercado. También se puede destacar que los datos recogidos tienen una desviación baja, obteniendo respuestas muy similares en instalaciones de automatización de productos farmacéuticos de distintos fabricantes.

Entre los diversos fabricantes de los sistemas de automatización para el sector, se modifican algunas características mecánicas o electrónicas de los dispositivos, pero la arquitectura de control y metodología de configuración, uso y mantenimiento de las máquinas es similar en todos los casos, así como la percepción del funcionamiento del sistema por parte de los usuarios. Un dato a destacar resultado de las entrevistas es la sensación de falta de control por parte de los usuarios sobre los sistemas de automatización nucleares de su procesos logísticos, y por lo tanto, nucleares de su negocio. Esto genera una fuerte dependencia tecnológica respecto a las empresas de automatización con costosos contratos de mantenimiento y exigentes servicios postventa.

## 2.8. Retos tecnológicos en la automatización de la logística farmacéutica

Tabla 2-4. Resultados del cuestionario empleado para la recogida de datos en las entrevistas.

<b>CUESTIONARIO RECOGIDA DE DATOS - AUTOMATIZACION DISTRIBUCION FARMACÉUTICA</b>		
<i>RESUMEN RECOGIDA DE DATOS</i>		
RESPONDA A LAS SIGUIENTES CUESTIONES:	Media	$\sigma$
1. ¿Cuál es su grado de satisfacción con las soluciones de automatización presentes en el mercado para la distribución farmacéutica?	5,3	2,2
2. Evalúe la importancia de seguir automatizando su almacén y proceso de preparación de pedidos en un futuro.	8,2	1,5
3. ¿Considera importante la velocidad de dispensación y preparación de pedidos del sistema tecnológico?	8,7	1,8
4. Indique la necesidad de un sistema tecnológico para la carga y reposición de los medicamentos previo al proceso de dispensación.	6,6	2,8
5. ¿Es importante para su negocio el mantenimiento correcto y sincronizado del nivel de Stock de cada producto?	8,3	1,3
6. Evalúe la importancia en el control de errores durante la preparación de los pedidos.	9,2	1,1
7. ¿Qué importancia tiene el precio a la hora de seleccionar un sistema de automatización para su negocio?	8,7	2,4
8. Evalúe la importancia que otorga al consumo energético del sistema de automatización.	6,3	4,2
9.Cuál es el grado de exigencia del mantenimiento para el buen funcionamiento de su sistema de automatización actual.	5,8	3,1
10. Indique la sencillez (1) o dificultad (10) para la ampliación de su sistema de automatización actual a otras zonas del almacén.	7,1	1,7

En el análisis de los almacenes de distribución farmacéutica realizado se ha comprobado que resulta complejo establecer la arquitectura CIM en su totalidad debido a que las máquinas dispensadoras y automatismos del almacén están basados en buses industriales propietarios de cada fabricante y son soluciones cerradas. La comunicación entre el nivel superior y el nivel de producción se basa en el envío de órdenes de pedido a las máquinas automáticas, pero no existe un flujo de datos bidireccional que facilite la visualización del estado de la línea o la comunicación de eventos. Las máquinas automáticas se gestionan como cajas negras que tienen unos inputs y de los que se obtiene un resultado, pero todo el software de control y configuración de dichos sistemas está cerrado al resto de niveles.

Este paradigma presenta unos primeros retos tecnológicos a superar en el sector relacionados con la tecnología y arquitectura de los sistemas de automatización farmacéuticos, que se muestran en la Tabla 2-5.

## 2. Estado del arte: antecedentes teóricos

Tabla 2-5. Comparativa de la situación de la tecnología actual y los retos tecnológicos en el sector de distribución farmacéutica.

<b>Tecnología Actual</b>	<b>Retos Tecnológico</b>
Soluciones centralizadas	Sistemas distribuidos y descentralizados
Sistemas propietarios, dependientes de una marca	Dispositivos abiertos, independientes de marcas
Tecnologías complejas y pesadas	Tecnologías ligeras y simples
Tecnologías costosas	Tecnologías más accesibles económicamente
Mantenimiento caro y dependiente de terceros	Mantenimiento propio y económico
Acceso remoto bajo licencia	Control remoto y supervisión nativa

Además de los retos tecnológicos, los sistemas futuros deben mantener y mejorar los ratios de productividad y eficacia necesarios en estas instalaciones que deben preparar grandes volúmenes de pedidos en intervalos de tiempo muy exigentes. Los retos de eficacia o rendimiento identificados se muestran en la Tabla 2-6 y los retos de eficiencia o consumo de recursos en la Tabla 2-7.

Tabla 2-6. Ratios de eficiencia o rendimiento fundamentales del sector farmacéutico.

<b>Ratio de eficacia - Actual</b>	<b>Retos Tecnológico</b>
Número de pedidos preparados / hora.	Aumentar el ratio de pedidos / hora, necesidad de crecimiento en automatización.
Tiempo medio por pedido.	Soluciones de mayor velocidad y gestión de preparación simultánea de varios pedidos.
Tasa de errores por pedido.	El objetivo del sector es el error cero en los pedidos, conlleva mayor automatización.
Tanto por ciento de cubetas con preparación errónea.	Gestión para la ayuda a la reposición de carriles y evitar el error de stock
Trazabilidad completa de toda la operación logística.	Automatización de las líneas con mayor número de canales para control de lotes por referencia.

Tabla 2-7. Resultados del cuestionario empleado para la recogida de datos en las entrevistas.

Ratio de eficiencia - Actual	Reto Tecnológico
Espacio requerido por el sistema.	Mejor aprovechamiento del metro cuadrado destinado a automatización.
Consumo eléctrico	Reducción del consumo eléctrico, y modo bajo consumo sin uso.
Coste económico de la solución	Tecnologías económicas y accesibles.
Tiempo de instalación y puesta en marcha.	Impacto mínimo en la operativa actual durante la instalación de nuevos sistemas.
Nivel de ruido del sistema.	Soluciones totalmente electrónicas, sin neumática y de bajo ruido.
Mantenimiento de la tecnología	Facilidad de mantenimiento y sin complejidad de sistemas.

## 2.9 Resumen del estado del arte

La primera sección del capítulo ha presentado el conocimiento general de los sistemas de automatización y los componentes principales que son empleados para el diseño de sistemas de control. La segunda parte del capítulo ha abordado de forma específica los procesos de automatización de la logística de la industria de distribución farmacéutica, mostrando los principios de funcionamiento de los sistemas de las empresas líderes del sector.

A modo de resumen se muestra en la Fig. 2.27 la arquitectura general que es seguida por los sistemas actuales de automatización para el sector (estado del arte). Los elementos dispensadores de los medicamentos pueden tener diversas características mecánicas como se ha mostrado en el análisis de patentes en el Apartado 2.7, pero la configuración en la que se disponen los dispositivos de control y el flujo de los datos es siempre similar. Los autómatas industriales son los dispositivos clave en el control de estas arquitecturas, y requieren un importante cableado eléctrico y también neumático hacia los actuadores y sensores.

Los buses de comunicación entre autómatas y el servidor de control son propietarios, y varían en función de la marca de dispositivos que es empleada por cada empresa de automatización. El ordenador de control es un componente clave en esta arquitectura, puesto que se encarga de establecer todo el diálogo entre el ERP de la empresa, que debe informar acerca de los pedidos, y los stocks y los dispositivos de control de la planta. La supervisión y configuración de la línea se

## 2. Estado del arte: antecedentes teóricos

realiza directamente desde este ordenador con programas SCADA propietarios y a medida de cada instalación.

Los procesos de automatización de oficinas de farmacia tienen una arquitectura de control similar, pero debido al menor número de medicamentos automatizados, no suelen requerir de un gran número de autómatas y los requisitos energéticos y de aire comprimido son menores.

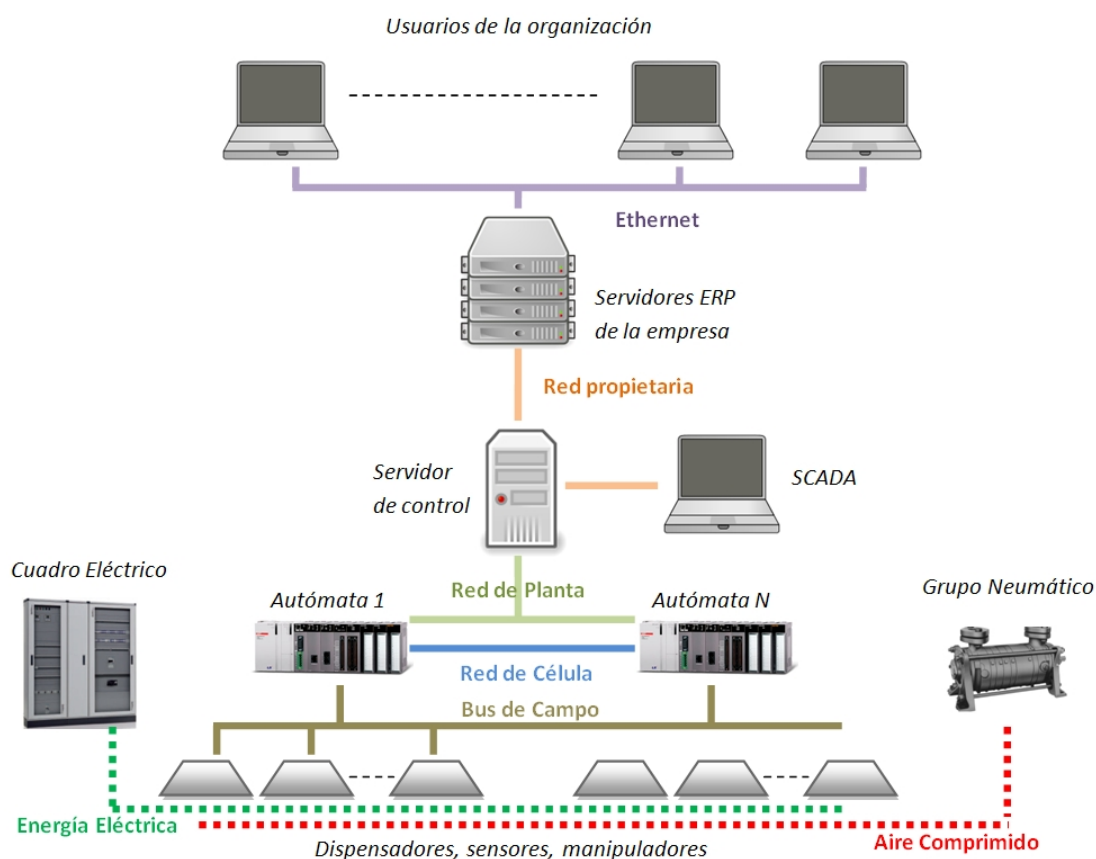


Figura 2.27. Arquitectura de control para la automatización de la logística de la industria farmacéutica.

En el capítulo también se ha presentado la problemática de la reposición de los carriles de los medicamentos de estos sistemas automáticos, que es habitualmente un proceso manual y requiere mucha manipulación y trabajo por parte de los operarios, estando el procedimiento sujeto a errores. Los sistemas de control de miles de leds distribuidos que serían requeridos para poder afrontar una solución mediante un guiado por luz hacia cada operación ejecutada en un carril por parte de un operario no permiten desplegar este tipo de instalación, salvo asumiendo un importante coste económico y un cableado complejo, como se ha ido presentando en los Apartados 2.6.3 y 2.7.2.

Tras el estudio del estado del arte y la recogida de datos mediante cuestionarios y entrevistas que han sido llevadas a cabo a profesionales del sector farmacéutico con cargos en diversos puestos, se concluye en el Apartado 2.8 con los requisitos tecnológicos y de funcionalidad que deben ser contemplados en todo desarrollo innovador que se dirija a la mejora de los procesos logísticos del sector farmacéutico. Dichos requisitos serán evaluados en los posteriores capítulos para el análisis de los resultados.



## Capítulo

# 3

## Diseño de la Arquitectura de Control Web 2.0 y algoritmos

**E**n este capítulo se presenta a nivel conceptual y de implementación la Arquitectura de Control Web 2.0 basada en microservidores que ha sido concebida. Para el desarrollo de esta arquitectura ha sido necesario aplicar conocimientos de control, arquitectura de computadores, diseño mecánico, electrónica e informática. Ha sido necesario crear unos originales sistemas basados en microservidor que pudieran cumplir con los requisitos tecnológicos expuestos en la tesis doctoral y que tuvieran la funcionalidad adecuada para la posterior fase experimental, que requiere la construcción de un robot real cuyo rendimiento pueda ser comparado con las máquinas del estado del arte actual.

Las secciones en las que está dividida este capítulo y el resumen de su contenido son:

- **3.1. Arquitectura de Control Web 2.0:** en este apartado se explica el concepto general de la nueva arquitectura de control presentada en esta tesis, y se analiza en mayor detalle sus diferencias fundamentales respecto a las arquitecturas de control del estado del arte actual, así como cada uno de los componentes que lo integran.
- **3.2. Algoritmos de control:** se exponen los algoritmos desarrollados para el control de los diversos componentes de la Arquitectura de Control Web 2.0. Se trata de varios procesos de control que actúan simultáneamente para

atender las distintas necesidades de la arquitectura en tiempo real, tanto para las fases de preparación de pedidos como de reposicionamiento de mercancía.

- **3.3. Conceptualización de los sistemas basados en microservidor:** se presentan los conceptos fundamentales para el desarrollo de sistemas compatibles con la Arquitectura de Control Web 2.0 y se analiza el desarrollo electrónico realizado a medida para la fabricación de los microservidores necesarios para la construcción física y validación experimental del desarrollo teórico de la tesis.

Se han desarrollado dos modelos de sistemas basados en microservidor: un tipo para la operación de preparación automática de pedidos y un segundo tipo para las operaciones de reposicionamiento semiautomático de los carriles.

- **3.4, 3.5 y 3.6. Patentes de los microservidores de dispensación y reposición:** el diseño de los microservidores de dispensación y de reposición para la aplicación de la Arquitectura de Control Web 2.0 a la industria farmacéutica es un desarrollo innovador dentro de la concepción del sistema y del propio sector en general, y por este motivo se le dedican los apartados específicos 3.4, 3.5 y 3.6 de la tesis doctoral.

El diseño conceptual de estos microservidores es la base para el óptimo funcionamiento de la arquitectura en su aplicación a la industria de distribución farmacéutica. La originalidad de los planteamientos ha permitido obtener cuatro patentes en base a los conceptos expuestos en estos apartados y que se encuentran actualmente en explotación.

- **3.7. Arquitectura informática:** se explica cómo se ha implementado el algoritmo de control en tiempo real, el almacenamiento y la gestión de la información y comunicaciones de toda la arquitectura empleando tecnologías y lenguajes de programación Web 2.0. La organización de la información entre los diversos elementos contemplados en la Arquitectura de Control Web 2.0 también implica el desarrollo de un interface SCADA, que en este caso se ha creado íntegramente en entorno Web.

La arquitectura informática y la comunicación entre los componentes tienen una complejidad específica y por este motivo está desarrollado en este apartado independiente, puesto que aún no siendo nuclear en la innovación de la tesis, es necesario describirlo para permitir la implementación y la validación de la solución.

- **3.8. Resumen:** se realiza un resumen del contenido del capítulo destacando aquellos aspectos más relevantes.

### **3.1 Arquitectura de control Web 2.0**

La Arquitectura de Control Web 2.0 se basa en el empleo y combinación de los siguiente componentes principales: microservidores específicos, red Ethernet para las comunicaciones, bases de datos libres MySQL y tecnologías Web 2.0 para el desarrollo de programas e interfaces, así como las funciones de telemantenimiento y control remoto. Todas estas tecnologías combinadas permiten crear un nuevo concepto para desarrollar procesos de automatización industrial (García Zubía y Trueba, 2010). El campo de las aplicaciones de la Arquitectura de Control Web 2.0 se ha diseñado para su aplicación en la automatización de la dispensación de productos farmacéuticos en almacenes logísticos y farmacias, pero se podría modificar para adaptarse a los requisitos de otros sectores.

Los sistemas de control principales de la arquitectura son los microservidores distribuidos, lo que induce a la descentralización del sistema de control, el cual, con la ayuda de la tecnología de comunicación Ethernet y su conexión a Internet, permite una interactividad total entre los usuarios de los distintos niveles de las organizaciones y el sistema de automatización. El empleo de la red Ethernet como base de la comunicación facilita la integración de comunicaciones externas, como la integración de los programas informáticos de las farmacias con el sistema de control de los almacenes farmacéuticos, ya que la tecnología de Internet es nativa con la tecnología de comunicación de red Ethernet de la Arquitectura de Control Web 2.0.

La base del desarrollo informático y de almacenamiento de datos se basa en tecnologías de software libre empleadas para el desarrollo de la Web 2.0. Se ha optado por extender el uso de estas tecnologías Web al ámbito del control industrial mediante los microservidores y para la creación de programas SCADA Web amigables y de fácil manejo para el usuario final, habitualmente acostumbrado al manejo de páginas Web. Otra ventaja del uso de la tecnología Web es evitar el alto costo de las licencias de sistemas software propietarios que harían el coste de implementación mucho más elevado.

La base de datos es un componente fundamental para este tipo de proceso de control industrial en el que se manejan grandes cantidades de información en tiempo real y de cuyos procesos hay que dejar registro y trazabilidad. La base de datos escogida es MySQL y el lenguaje de programación para los interfaces y control del sistema es PHP. Ambas tecnologías software fueron desarrolladas originalmente para los sitios Web. Sin embargo, su rendimiento y sencilla forma de operación, están permitiendo que aumenten el número de sectores en los que se instalan, y de hecho su uso es nativo con la tecnología Web de los microservidores de esta arquitectura de uso industrial desarrollada en la tesis. El empleo de estas tecnologías para su uso en procesos de control en tiempo real es disruptivo y puede marcar una nueva tendencia en la programación de los algoritmos industriales.

Teniendo en cuenta las tendencias del mercado farmacéutico, el uso de tecnologías y base de datos Web está alineado con las necesidades futuras del sector, ya que permitirá en un corto plazo la interacción directa entre los microservidores de los robots de farmacia y los microservidores de las instalaciones de los almacenes de farmacia, ambas basadas en la Arquitectura de Control Web 2.0. Con este paradigma, el sistema informático de la farmacia sería el que organizaría automáticamente los pedidos para el almacén logístico central, comprobando en tiempo real los stocks y lotes a través de la interacción entre microservidores de la farmacia y el almacén. Esto conlleva que los farmacéuticos sólo deberían centrar sus esfuerzos en atender a los clientes y a las tareas de gestión del negocio, ya que la arquitectura permite que el abastecimiento y las compras sean realizadas automáticamente y con trazabilidad por parte de los microservidores.

Otra ventaja del uso de tecnologías Web, consiste en que el usuario puede tener acceso al sistema desde cualquier lugar donde haya acceso a Internet y que es capaz de conocer en tiempo real el estado de la instalación y obtener toda la información necesaria, siempre con los correspondientes niveles de acceso de seguridad. La publicación de información en formato Web hace que el sistema sea multiplataforma y multidispositivo. Las funciones de telemantenimiento y control remoto también son características necesarias en una arquitectura de control moderna, y están contempladas de forma nativa por parte de los microservidores de la Arquitectura de Control Web 2.0.

#### ***3.1.1 Descripción de los componentes de la arquitectura***

En la Fig. 3.1 se muestra el organigrama funcional de la Arquitectura de Control Web 2.0 en su principal configuración. Una de las principales características de esta nueva arquitectura consiste en el empleo de la red de comunicación Ethernet de forma universal en toda la organización, ya que tanto los dispositivos de control de la planta como los ordenadores de gestión de la empresa y demás redes intermedias utilizan la misma tecnología para su interconexión.

Otra característica notable consiste en que no existe ningún tipo de autómeta industrial para ejecutar el algoritmo de control, el proceso de control está distribuido en los dispositivos microservidores, que son circuitos electrónicos con capacidad de comunicación Ethernet y especializados en las distintas tareas de control de la planta.

La Arquitectura de Control Web mostrada en la Fig. 3.1 contrasta con la arquitectura de control del estado del arte actual para los procesos de automatización del sector farmacéutico presentada en la Fig. 2.27. De la observación de ambas figuras destaca:

- Los PLCs son sustituidos por microservidores ligeros de bajo coste.
- Las redes de comunicación propietarias pasan a ser Ethernet.
- La topología de la aplicación informática pasa de centralizada a distribuida, sin nodo central.
- La alimentación trifásica pasa a monofásica, sin necesidad de grandes cuadros eléctricos.
- No hay compresor de aire comprimido.

En conjunto la tesis aborda un cambio rotundo de paradigma tecnológico, pasando de una tecnología industrial “pesada” a una más ligera y electrónica. Este cambio de paradigma supone afirmar que los microservidores y sus complementos son capaces de integrarse y automatizar plantas industriales complejas, ya que habitualmente dichos dispositivos están asociados a industrias del juguete, electrodomésticos, etc., donde los requisitos de velocidad, robustez y sostenibilidad suelen ser más livianos. Es decir, la tesis de forma disruptiva enfrenta una situación clásica desde un cambio de paradigma tecnológico.

En la Arquitectura de Control Web 2.0 el algoritmo de control deja de residir en los autómatas industriales y se distribuye entre el ordenador servidor de control y las CPU’s de los microservidores. Esto hace la arquitectura mucho más robusta y estable frente a averías, ya que un fallo en un microservidor de dispensación tan solo afecta al medicamento del carril del microservidor en mal funcionamiento y no afecta al resto de la instalación. Por el contrario, un fallo en un autómata en la arquitectura clásica produce el fallo de varias decenas o centenares de carriles, pudiendo provocar la parada de la línea. A su vez, el empleo de la red Ethernet permite la virtualización del algoritmo de control del ordenador servidor de control, de forma que un fallo en esta máquina puede ser rápidamente restablecido a través de otro ordenador clonado que entre en ejecución en la misma red.

Una ventaja de la arquitectura de la figura es su sencillo procedimiento de instalación y montaje, debido a que los sensores y los elementos actuadores son controlados por los propios microservidores, evitando complejos cableados de señales hacia los cuadros de los autómatas industriales. Esto también redundará en una arquitectura más robusta frente a ruidos eléctricos. El cableado tan solo requiere un bus de alimentación y otro de datos, que al ser de tipología Ethernet emplea cables y conectores estándares y cuya instalación puede ser realizada por informáticos o por instaladores con conocimientos de redes de comunicación Ethernet. En cambio, los cableados y procedimiento de instalación de los buses propietarios son mucho más complejos y su medición y puesta en marcha debe ser realizada por técnicos especializados.

### 3. Diseño de la Arquitectura de Control Web 2.0 y algoritmos

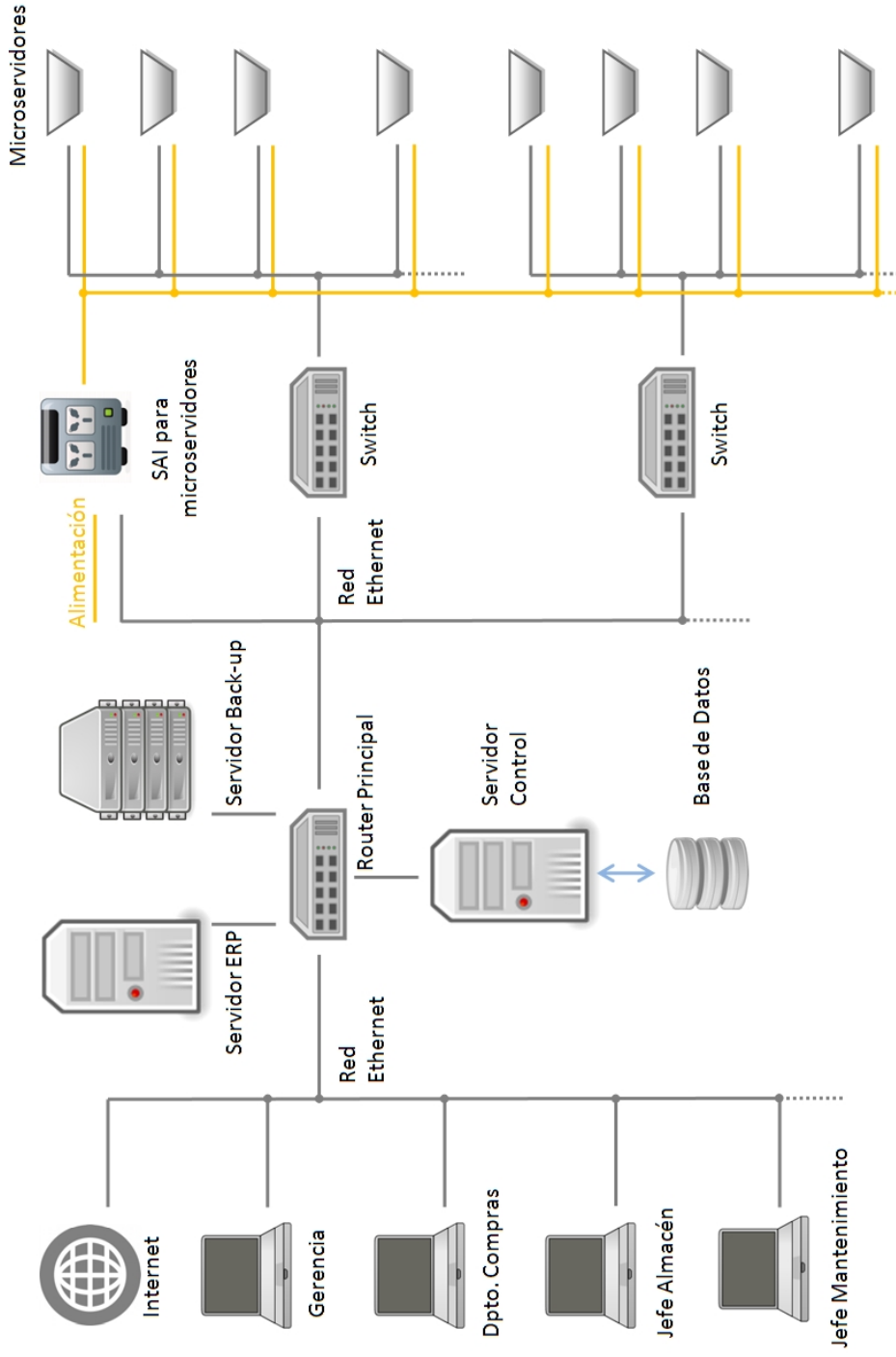


Figura 3.1. Arquitectura de Control Web 2.0, principales componentes.

El ordenador servidor es un ordenador más dentro de la red Ethernet de la empresa y ejerce de puente entre toda la red informática de gestión de la organización y los microservidores de control. En este PC se encuentran el sistema de base de datos y los programas de interfaz para poder hacer que los microservidores dialoguen con los programas de gestión ERP ó SGA utilizados por la empresa.

Toda la tecnología informática utilizada en este servidor es tecnología Web, lo que facilita la universalidad de la arquitectura para su empleo en todo tipo de organizaciones independientemente del sistema operativo o tipo de programa de gestión utilizado. Los accesos al nivel de control son realizados desde diferentes niveles de la organización, pero todos ellos se hacen de manera nativa por Ethernet. Por ejemplo, el jefe de almacén puede necesitar conocer el nivel de carga de los productos en los microservidores, o el jefe de compras utilizar esta misma información para conocer los stocks y gestionar las órdenes de compra. Los gerentes pueden acceder desde su PC para conocer el nivel de productividad de la línea o los encargados de mantenimiento pueden descargar los estados de avería o atascos de los carriles directamente desde los propios microservidores.

El ordenador servidor también permite que los microservidores de control puedan ser accesibles desde el exterior para su supervisión y control remoto, mediante Internet, así como su total integración en la totalidad de los niveles CIM. En este PC se configuran los niveles de seguridad tipo VNC para el control del acceso remoto, si bien para aplicaciones de control con especiales requisitos de seguridad, los propios microservidores pueden incorporar motores de encriptación hardware de las comunicaciones, como será explicado en el apartado de comunicaciones Ethernet de los microservidores. En este caso se podría llegar a conectar los microservidores directamente a Internet sin necesidad del ordenador servidor de puente intermedio.

Conviene señalar que para que las aplicaciones industriales que empleen esta arquitectura sean robustas, el sistema de alimentación de los microservidores es de vital importancia. Por esta razón, el sistema de fuentes de potencia de alimentación se conecta y supervisa por el ordenador servidor de la arquitectura, utilizando el mismo tipo de red Ethernet. El sistema de alimentación se recomienda que sea redundante, de forma que si el servidor detecta un fallo en el suministro eléctrico a los microservidores, pueda reconectar el sistema mediante un segundo equipo de alimentación con baterías tipo SAI.

A nivel de compatibilización informática, la opción preferente por esta arquitectura es el empleo de la base de datos nativa de tipo MySQL que está instalada en el servidor. Esta base de datos de uso abierto y sin necesidad de licencias, es fácilmente accesible desde la mayoría de programas de gestión del mercado. El intercambio de información directamente a nivel de base de datos es

más veloz que mediante otras tecnologías clásicas como la generación de interfases mediante intercambios de ficheros. Una vez que se ha realizado el acceso desde el ERP a la base de datos del servidor, puede ser visible toda la información de control de los microservidores, así como los datos históricos de control de forma nativa.

Los sensores y actuadores del proceso industrial, que son cableados en las arquitecturas clásicas a un gran cuadro general al que llevar todas las señales, son conectados en esta arquitectura directamente a los microservidores, los cuales se distribuyen por los lugares más adecuados a la ubicación del proceso a controlar. Esto reduce enormemente el cableado, facilita el proceso de instalación y aumenta la inmunidad al ruido de los sensores y demás elementos, frente a la elevada longitud de los cableados en algunas instalaciones con la solución clásica. La aplicación de la Arquitectura de Control Web 2.0 para la industria farmacéutica requiere el empleo de dos tipos de microservidores específicamente desarrollados, los microservidores para dispensación y los microservidores para reposición. Ambos sistemas basados en microservidor comparten por igual la misma red de comunicación y sistemas informáticos en la arquitectura.

Los microservidores dispensadores utilizados en esta arquitectura son dispositivos electromecánicos que están equipados con un microchip que se encarga de comunicarse con el servidor principal por la red Ethernet y ejecutar los comandos. Estos sistemas basados en microservidor deben ser desarrollados para el entorno industrial, con unas características funcionales muy robustas y estables. Para su uso en aplicaciones farmacéuticas en la Arquitectura de Control Web 2.0 deben poseer unas características constructivas específicas, tanto electrónicas como mecánicas.

Necesitan un dispositivo electromagnético que permita dispensar los medicamentos desde los carriles en los que se encuentran cargados y unos sensores infrarrojos, instalados en puntos estratégicos, para el control del proceso de extracción de medicamentos. A través de la red Ethernet, el microservidor publica los resultados del proceso de preparación de pedidos al servidor principal que hace extensiva la información a través de la base de datos a todos los sistemas informáticos de la empresa.

El empleo de la arquitectura de microservidores además de controlar el proceso principal de dispensación de productos farmacéuticos, también se emplea para resolver la problemática descrita de la reposición de los carriles de los dispensadores automáticos en las arquitecturas de control del estado del arte actual. Para ello los microservidores de reposición están dotados de leds con el objetivo de ayudar visualmente a los operarios en sus desplazamientos por el almacén y para la localización exacta de cada carril de dispensación en el que reponer los productos farmacéuticos.

Un despliegue de decenas de miles de leds con control unitario de los mismos como el propuesto en esta arquitectura no puede ser implementado de forma sencilla con las arquitecturas de control del estado del arte actual, ya que requeriría un complejo y costoso cableado entre miles de puntos en los que iluminar las acciones del operario y los autómatas industriales encargados de su manejo.

La solución propuesta en la tesis doctoral consiste en emplear la Arquitectura de Control Web 2.0 para equipar la instalación de una técnica de guiado por luz instalada en la parte trasera de los armarios dispensadores que sirva para indicar mediante conjuntos de leds configurables dinámicamente la ubicación o carril en la que debe ser introducido cada producto. En los siguientes apartados de la tesis se muestra el desarrollo específico de los microservidores de dispensación y de reposición por su alta importancia dentro de la concepción de la Arquitectura de Control Web 2.0.

Un aspecto que se considera importante en la Arquitectura de Control Web 2.0 es la redundancia del ordenador servidor, ya que esto garantiza que aún en caso de fallo de este PC, todo el sistema de comunicaciones siga funcionando, al mantener la conexión entre los microservidores, la base de datos y el programa ERP de la empresa. Como se ha presentado en el Capítulo 1 de la tesis, el sector de distribución farmacéutica es un sector crítico en tiempo de respuesta, en el que una hora de pérdida de productividad en el horario crítico puede generar fuertes pérdidas económicas, por lo que el sistema debe estar concebido para la previsión de cualquier avería y su rápida subsanación, y en concreto un fallo en el servidor informático es posiblemente una de las más graves.

Cabe destacar la sencillez de realizar el sistema redundante en la Arquitectura de Control Web 2.0 frente a realizar una redundancia del proceso de control mediante autómatas de control industriales y redes industriales propietarias, que requieren duplicar los equipos hardware e incluso la duplicación del cableado en algunos casos. Con la Arquitectura de Control Web 2.0 la opción para la redundancia del servidor es la virtualización, de forma que no haga falta un ordenador físico específico para este nivel de protección, si no que en caso de fallo o avería del ordenador servidor, el control de la instalación pueda ser recogido desde una máquina virtual presente en la propia empresa o fuera de ella.

A continuación se describen algunas de las ventajas asociadas a la Arquitectura de Control Web 2.0 con microservidores en su aplicación para los almacenes de distribución farmacéutica y oficinas de farmacia, atendiendo a los requisitos tecnológicos identificados en el Apartado 2.8 del estado del arte, y que suponen un cambio de paradigma en el planteamiento de los procesos de automatización aplicados a dicho sector:

- Todos los sistemas informáticos, redes de comunicación, bases de datos y dispositivos utilizados emplean tecnologías libres, sin costes añadidos para la empresa por uso de licencias o redes de control propietarias.
- Todas las redes de comunicación de la organización emplean la misma tecnología, la red Ethernet, lo que simplifica el cableado y organización de la red a través de routers, facilitando la integración de la arquitectura CIM.
- Al tener el control descentralizado y presente en los microservidores, el algoritmo de control está distribuido entre todos los elementos, no existiendo riesgo de averías graves, un microservidor de dispensación dañado puede ser fácilmente reemplazado y mientras tanto el resto del sistema sigue funcionando con normalidad.
- El uso de microservidores como elemento principal de control permite abordar el problema de la reposición de los carriles mediante una técnica de guiado visual para los operarios a través de microservidores de reposición dispuestos de diodos led y conectados a la red Ethernet. Esta reposición efectiva reduce los errores de reposición
- La conexión de los sistemas de control entre distintos almacenes o entre almacenes y farmacias puede realizarse de forma nativa a través de Internet, ya que los microservidores pueden conectarse de forma nativa.
- El uso de tecnologías Web para el desarrollo de los interfaces aporta programas SCADA y publicación de datos estadísticos en un entorno amigable y fácilmente comprensible por los usuarios de los distintos niveles de la organización, habitualmente familiarizados con el uso de navegadores Web.
- El establecimiento de mecanismos de seguridad redundantes puede realizarse de forma muy sencilla a través de la virtualización del ordenador servidor que alberga la base de datos y centraliza las comunicaciones de red Ethernet entre el ERP y los microservidores.

#### **3.2 Algoritmos para la Arquitectura de Control Web 2.0**

En este apartado se analizan los algoritmos de control que han sido concebidos para el funcionamiento de los componentes presentados en la Arquitectura de Control Web 2.0. La programación de dichos algoritmos ha sido posteriormente ejecutada mediante lenguajes de programación Web 2.0 y empleando bases de datos MySQL para el almacenamiento de los resultados históricos de los procesos.

Se crea una matriz de pedidos  $P$  para almacenar todos los pedidos que son enviados al ERP y que se encuentran en estado pendiente de fabricación. Esta matriz puede ser ordenada en función de los criterios que el almacén desea seguir para realizar la preparación de los pedidos, como pueden ser la distancia de las rutas a recorrer en el transporte o la prioridad de los clientes.

$$P = \{p_1, p_2, \dots, p_N\}; \text{ donde } p_i \text{ son los pedidos enviados por el ERP}$$

A cada pedido le corresponde una matriz de líneas de pedido, de dos dimensiones, conteniendo en un primer campo el código de cada producto que se desea preparar, y en el segundo campo el número de unidades a dispensar para cada código de producto. En el caso particular de los productos farmacéuticos el código del producto es un código nacional único para cada tipo de producto que está regulado por la legislación.

$$p_i \in M_{N \times 2} = \begin{bmatrix} c_1 & u_1 \\ \vdots & \vdots \\ c_N & u_N \end{bmatrix}; \text{ donde } c_i \text{ son los códigos nacionales y } u_i \text{ las cantidades}$$

Para poder iniciar la preparación automática de los pedidos, sobre la información básica enviada por el ERP a la Arquitectura de Control Web 2.0 (matrices  $P$  y  $p_i$ ), es necesario crear una matriz extendida de las líneas de pedido  $EL$  previo al inicio de preparación de pedidos. La matriz  $EL$  (matriz extendida de líneas de pedido) contiene información a completar durante el proceso de preparación de pedidos, como el número de unidades realmente servidas durante el proceso de preparación o el lote de producto que va a ser dispensado para cada unidad solicitada. Esta información radica en los microservidores y forma parte del proceso de control. La matriz extendida  $EL$  es enviada de retorno hacia el ERP una vez completados los pedidos.

El lote de los productos permite conocer su fecha de caducidad y datos relativos a su proceso de producción que es necesario controlar por parte de las autoridades sanitarias, de forma que en caso de aviso pueda realizarse un seguimiento de qué productos de qué lote fueron dispensados en qué fecha a qué farmacias. En una misma instalación pueden convivir productos con el mismo código nacional y con distintos lotes, no pudiendo conocer el ERP a priori qué lotes están cargados en los microservidores y cómo se va a realizar la preparación del pedido. Esta información es generada por los microservidores y completada en la matriz extendida  $EL$  durante el proceso de preparación.

$$EL \in M_{N \times N} = \begin{bmatrix} c_1 & u_1 & l_1 & s_1 \\ c_2 & u_2 & l_2 & s_2 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ c_N & u_N & l_N & s_N \end{bmatrix}; \text{ donde } l_i \text{ son lotes y } s_i \text{ unidades preparadas}$$

Todavía no puede iniciarse la preparación de los pedidos, ya que estos deben ser asignados a contenedores o cajas en los cuales van a ser introducidos los productos. La Arquitectura de Control Web 2.0 permite que varios pedidos vayan siendo preparados de forma simultánea sobre la misma cinta transportadora, lo que redundará en un gran aumento de la velocidad del sistema, si bien aumenta la complejidad del proceso.

Según los pedidos se van asignando a las cajas y entran en el circuito de rodillos que los transfiere hacia el punto de entrega de la cinta transportadora de los dispensadores, se van preparando simultáneamente en la cinta transportadora varios pedidos, uno detrás de otro, en el mismo orden en el que viajan las cajas con las matrices  $EL$  de cada pedido, de forma que según se produzca la sincronización de la llegada de las cajas a la cinta, el pedido ya esté listo para su introducción en la caja.

De este modo, la matriz  $EL$  no es válida para la preparación de pedidos, ya que hay que dispensar simultáneamente sobre la cinta transportadora productos de varios pedidos simultáneamente, en función de la coincidencia del espacio de cinta transportadora otorgada a cada pedido y la presencia o no de productos a dispensar desde los carriles en cada momento. Este algoritmo de preparación simultánea de pedidos habilitado por la Arquitectura de Control Web 2.0 se aprecia en la Fig. 3.2.

En la Fig. 3.2 se muestran las cubetas introducidas en el sistema y su modo de preparación. Cuando se introduce una cubeta se realiza la asociación de los pedidos que van siendo asignados a cada una de ellas en el punto de lanzamiento. La asignación de los pedidos a las cubetas no tiene por qué seguir el mismo orden de transferencia de pedidos con el que ha sido completada la matriz  $P$  (matriz de pedidos) desde el ERP, dicho orden puede ser escogido por el operario encargado de la inserción de las cubetas y los pedidos en la línea. Los carriles dispensadores están representados de forma que el lanzamiento de los productos en los distintos carriles es directo hacia la cinta transportadora que se encarga de su recogida y transporte hacia cada caja. Las cajas contenedoras de los pedidos se mueven sincronamente con los movimientos de la cinta transportadora y a través de un camino de rodillos automático de transporte.

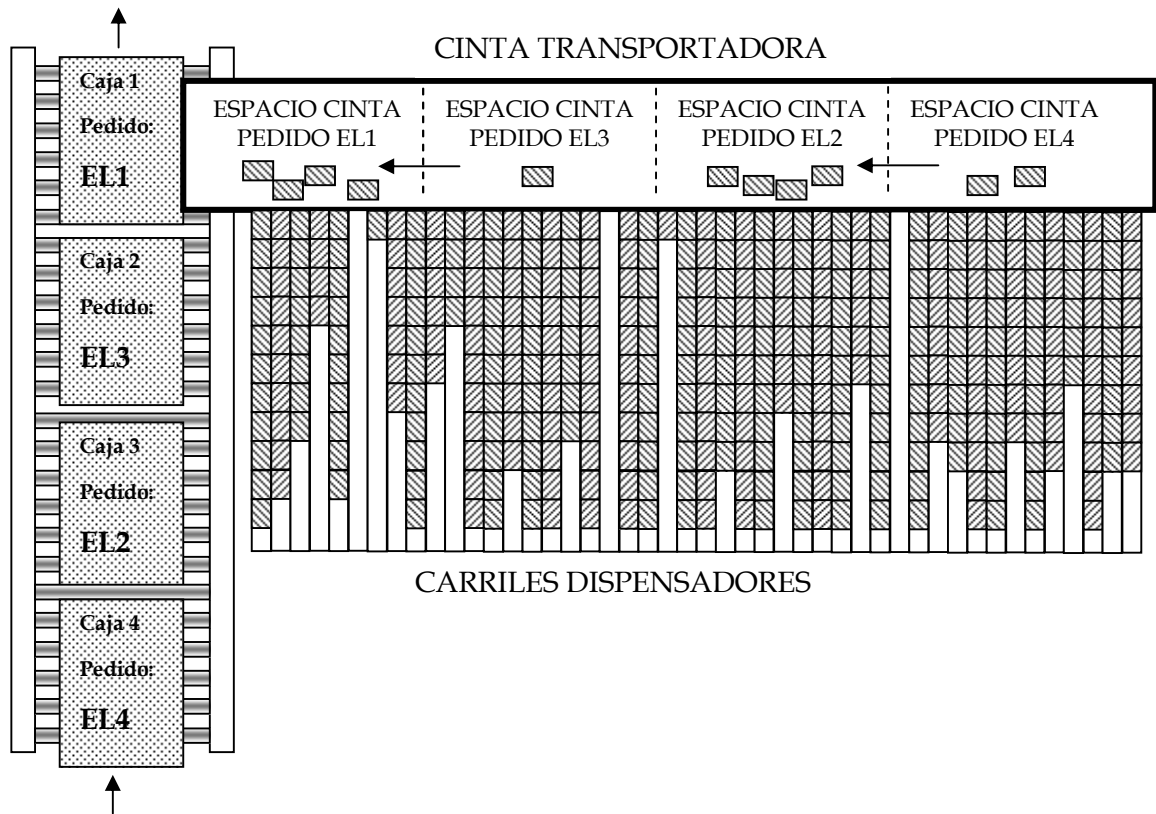


Figura 3.2. Sincronización de preparación de varios pedidos simultáneos con los microservidores.

En el momento de introducirse en el sistema los pedidos en las cubetas es cuando realmente pueden establecerse las necesidades de preparación de cada pedido y el orden en el que deben ser las acciones de los microservidores de dispensación para permitir la preparación simultánea de pedidos en cinta. Por este motivo, se crea una nueva matriz  $D$  que recoge los disparos sincronizados que deben ser realizados por los dispensadores para ir completando secuencialmente los pedidos. En un mismo instante pueden dispensarse sobre la misma cinta productos de varios pedidos, y conforme el espacio de cinta asignado a cada pedido avanza, se van realizando sincronamente los disparos oportunos de los carriles dispensadores.

La matriz  $D$  traduce los pedidos en órdenes a enviar a los microservidores, teniendo en cuenta su ubicación física sobre la cinta transportadora y los productos contenidos por cada microservidor. En la matriz  $D$  se realiza el reparto de unidades a dispensarse por los microservidores en cada momento e independientemente del pedido que se encuentren preparando, ya que en la cinta transportadora pueden coexistir muchos pedidos.

Esta matriz está formada por tantas líneas como líneas de pedido deben prepararse simultáneamente en todos los pedidos en curso y dispone las coordenadas de identificación de cada microservidor dispensador dentro de la línea. Para la identificación de las coordenadas hacen falta tres dimensiones, ya que los dispensadores se sitúan en varios niveles de baldas compuestos de filas con un número  $n$  de elementos, y esta configuración puede repetirse en ambos lados de la cinta transportadora.

$$D \in M_{N \times N} = \begin{bmatrix} x_1 & y_1 & z_1 & t_1 \\ x_2 & y_2 & z_2 & t_2 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ x_N & y_N & z_N & t_N \end{bmatrix}; \text{ donde } x_i, y_i, z_i \text{ son las coordenadas y } t_i \text{ el tiempo}$$

Para la determinación de los instantes de tiempo  $t$  en los que debe ser enviada la trama de dispensación a cada microservidor, incluyendo el número  $c$  de unidades a dispensar, se calcula tanto la posición del microservidor teniendo en cuenta el tiempo de caída de los productos desde cada nivel de altura como el número de unidades a dispensar desde cada carril. El objetivo de este método de dispensación y con la creación de la matriz  $D$  es conseguir el mejor aprovechamiento del espacio de la cinta transportadora que va recogiendo los productos desde cada carril por los microservidores de dispensación lo que redundará en máxima velocidad.

Una vez que los pedidos van siendo completados en orden en la cinta transportadora, el último paso consiste en su lanzamiento a la cubeta o caja en la que se deben depositar. En caso de que la cubeta no se encuentre preparada al final de la cinta transportadora cuando el pedido con los medicamentos llega a su posición, hay que detener la cinta, evento que hay que evitar en la medida de lo posible, porque como se ha señalado, en la cinta transportadora hay varios pedidos en preparación de forma simultánea, luego la parada de la cinta transportadora detiene varios pedidos a la vez.

El control de la velocidad de avance de la cinta transportadora debe realizarse con un control electrónico y un encóder que garantice el control de avance de la cinta. Dado que las cintas transportadoras usadas para esta aplicación tienen una alta velocidad, hasta 90 metros por minuto, y una larga longitud, medidas de hasta 60 metros, es recomendable que el sensor utilizado para el control del avance sea un encóder independiente al motor y situado en el rodillo de retorno de la cinta, no en el rodillo propulsado por el motor. El motivo es que durante la parada y arranque de la cinta, el rodillo autopropulsado por el motor puede patinar ligeramente sobre la parte trasera de la banda y no producir su arrastre, mientras que el rodillo de retorno de la banda y no propulsado, siempre que se mueve es porque se está

produciendo un avance real de la banda. La información del encóder debe ser transmitida en tiempo real al algoritmo de control para que pueda sincronizarse eficazmente con los tiempos de dispensación de los microservidores.

Una ventaja del sistema de preparación de pedidos con microservidores respecto a una preparación tradicional con sensores y actuadores, consiste en que cada microservidor realiza de forma autónoma el proceso de dispensación a la vez, y el tiempo entre disparos para la extracción de cada producto es diferente para cada carril conforme a las mediciones que realiza cada microservidor con el sensor con el que detecta la salida de los productos. En un sistema convencional las activaciones de los actuadores se realizan de forma secuencial, de igual forma que la detección de los sensores, y el tiempo entre disparos es fijo y no variable por cada carril, lo que supone una importante ventaja de la Arquitectura de Control Web 2.0 respecto a las soluciones clásicas.

Para que ello sea posible, dentro de la memoria de cada microservidor se guardan parámetros que son configurados en el momento de dar de alta un nuevo producto asignado al carril en el que opera el microservidor. Estos parámetros identifican las medidas físicas y el peso del producto, y a través de estos parámetros el algoritmo de dispensación del microservidor es capaz de regular tanto la potencia del elemento electromecánico actuador, el tiempo que permanece el elemento dispensador elevado y el tiempo entre disparos en caso de que la orden de dispensación incluya varias unidades seguidas a extraer.

Cuando los medicamentos son introducidos en la caja, los microservidores completan la matriz *EL* con los datos de trazabilidad y la confirmación de que todos los productos hayan sido completados. En caso de que alguna línea no haya podido ser preparada por falta de stock en el carril, se produce el desvío de la caja hacia el carril de error y se notifica al operario del almacén la necesidad de completar la caja con los productos faltantes así como la necesidad de reponer los carriles que se han vaciado para impedir futuros errores en los pedidos que están aún pendientes de preparación. En el siguiente acceso puede verse un video de preparación de un pedido con los microservidores y empleando el algoritmo descrito: <https://youtu.be/716OPRgGccs>



Figura 3.3. Código QR para acceso al link que muestra en un video de preparación de pedidos con el algoritmo de la Arquitectura de Control Web 2.0.



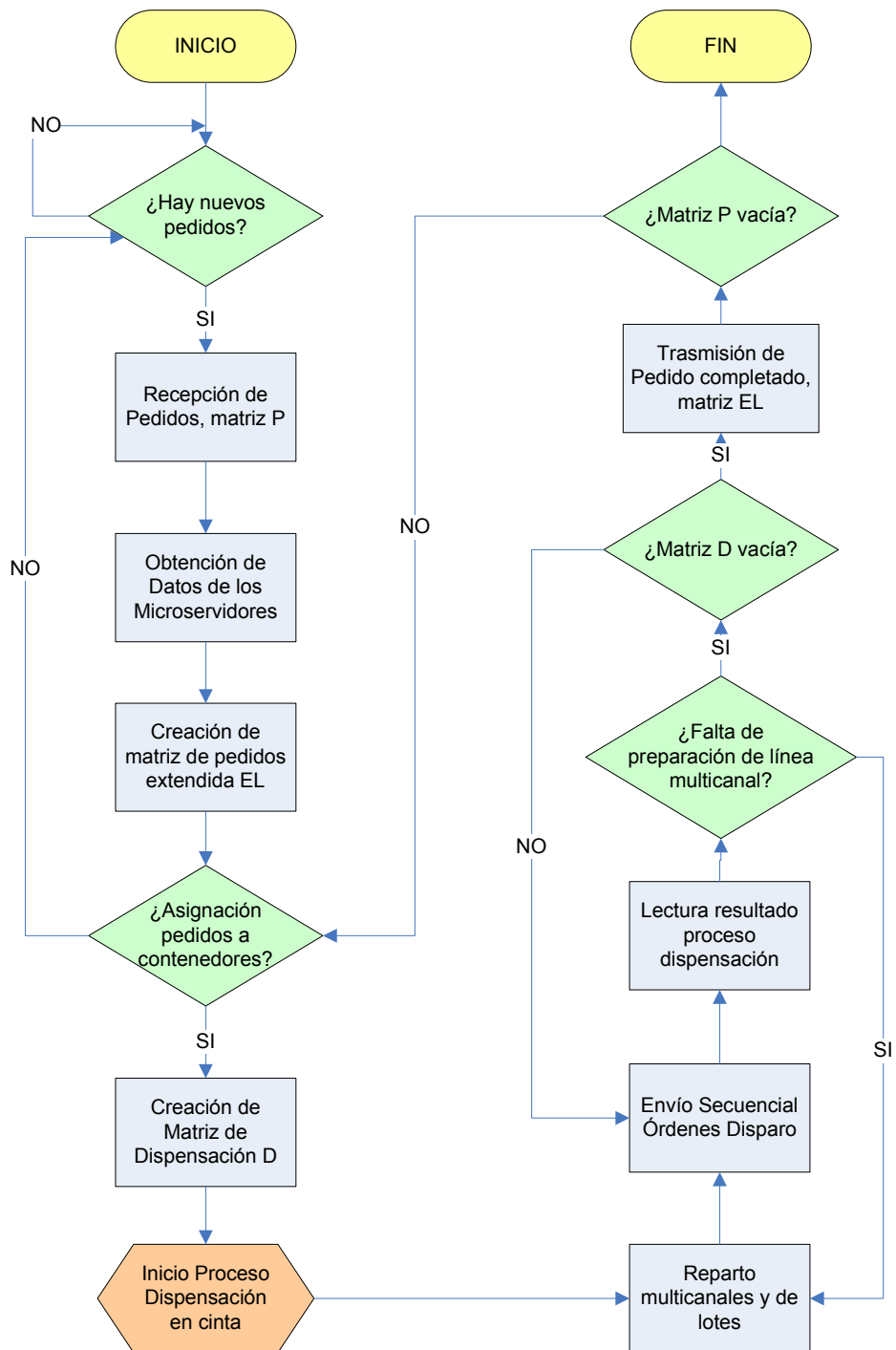


Figura 3.5. Organigrama del algoritmo de la Arquitectura de Control Web 2.0 para el proceso de preparación de pedidos

Otra novedad introducida por este sistema consiste en que en el caso de que un carril dispensador se haya quedado vacío durante el proceso de dispensación, el microservidor correspondiente consulta al resto de microservidores su estado de stock y es capaz de redirigir el pedido con las unidades restantes para que sean completadas por otro microservidor. Para este caso, el sistema formado por los microservidores también considera la modificación de los lotes que va a producirse en el pedido en caso de que el lote de los productos de los distintos carriles llenados sea diferente.

También cabe considerar el hecho de que un producto multicanal puede a su vez contener distintos lotes de producto, es decir, un mismo código de producto solicitado en la matriz EL si es preparado desde dos carriles multicanales diferentes puede contener productos de dos lotes distintos. Por este motivo, en caso de que un producto sea repartido bien desde su momento inicial en multicanales o bien durante el proceso de dispensación motivo del vaciado de otro carril, siempre es necesario desdoblar las líneas de la matriz EL de los códigos de producto que son repartidos de forma multicanal, aunque sean de un mismo pedido. Esto garantiza que la información de retorno hacia el ERP contiene los datos reales de cada lote de producto preparado durante el proceso de dispensación con carriles multicanales.

En resumen, gracias al sistema de microservidores, se garantiza que la totalidad del stock de producto disponible entre la suma de todos los carriles que tengan el mismo producto cargado va a ser utilizado para realizar el llenado de los pedidos, teniendo en cuenta en todo momento el stock disponible e incluso realizando la reasignación de mercancía entre carriles en tiempo real para casos con desajuste de stock.

#### ***3.2.2 Algoritmo para productos pesados***

Los productos farmacéuticos presentes en un almacén pueden llegar a las 100.000 referencias y esto supone una gran variabilidad de tamaños y formas. Habitualmente los carriles dispensadores se habitúan para los tamaños más estándares pero no son capaces de manejar productos pesados o con tamaños grandes.

Para solventar esta problemática los microservidores de dispensación pueden configurarse para trabajar en un modo cooperativo, en el que varios microservidores actúan de forma simultánea sobre la dispensación de un mismo producto. Esto permite que dos, tres o más dispensadores impulsen de forma simultánea un mismo producto, como solución al problema del tamaño de los productos de los carriles dispensadores del estado del arte actual.

En el modo cooperativo, que es una característica de configuración dentro de los parámetros de control de cada microservidor, se debe activar uno de los microservidores como maestro y el resto de microservidores utilizados para el mismo producto como esclavos. El microservidor principal es el encargado de responder a las comunicaciones, mientras que los microservidores esclavos tan sólo reciben las órdenes para estar correctamente coordinados. Este algoritmo permite que las dispensaciones hacia ciertos productos sean ejecutadas de forma simultánea por varios microservidores y se pueda configurar en la instalación medicamentos pesados o con formatos grandes.

#### **3.2.3 Algoritmo para microservidores de reposición**

En el momento en el que un carril se queda vacío, los microservidores situados en la parte trasera de los carriles y que están equipados con los leds, proceden a la iluminación del segmento concreto de la balda en la que se encuentra el carril que se ha quedado vacío, ayudando al máximo al operario a la identificación de la ubicación cuya reposición debe ser atendida con prioridad. A efectos del algoritmo de control, los microservidores de reposición atienden al resultado del proceso de dispensación que es realizado por los microservidores de dispensación y que es publicado en tiempo real en la matriz extendida EL. Si algún carril ha dado falta de producto, hay que proceder al encendido de las luces asociadas al carril correspondiente.

Cuando se produce una falta de producto por la cual un pedido no ha podido ser completamente pedido, además de la gestión del encendido del carril por parte del microservidor de reposición, la caja afectada con la falta de productos es desviada a un carril de error y se notifica en un puesto informático o a través de una impresora las referencias de producto faltantes para completar dicho pedido.

Cada microservidor de reposición dispone de una memoria interna en la que realizar configuraciones, similar al procedimiento de los carriles en el microservidor de dispensación. En este caso la configuración consiste en asignar el número de leds a los que debe atender cada uno de los carriles en los que tiene efecto el microservidor. Hay que tener en cuenta que un carril dispensador puede estar atendido por varios leds y a su vez estos leds pueden estar en microservidores distintos, debido a la forma constructiva de los microservidores de reposición en forma de tiras de leds, que será explicada en detalle en el Apartado 3.5.

Durante el proceso de carga del carril, el operario realiza la tarea empleando una PDA o puesto informático que sirve para escanear el código de barras del producto a reponer, de manera que se genera una petición al microservidor de reposición coincidente con ese código de producto. Cuando se realiza esta solicitud,

### 3. Diseño de la Arquitectura de Control Web 2.0 y algoritmos

los leds del carril se muestran en estado parpadeante rápido, para diferenciar este evento de unos leds con iluminación fija, que indican el vaciado completo del carril.

Para completar la reposición de un carril y por lo tanto apagar la luz parpadeante de los leds del microservidor de reposición correspondiente, el operario debe introducir en el sistema la información del lote concreto del producto que está cargando así como el número de unidades introducidas. A partir de este momento los microservidores se encargarán de emplear esta información para notificar el estado de stock de cada carril y completar la información de los lotes en cada pedido.

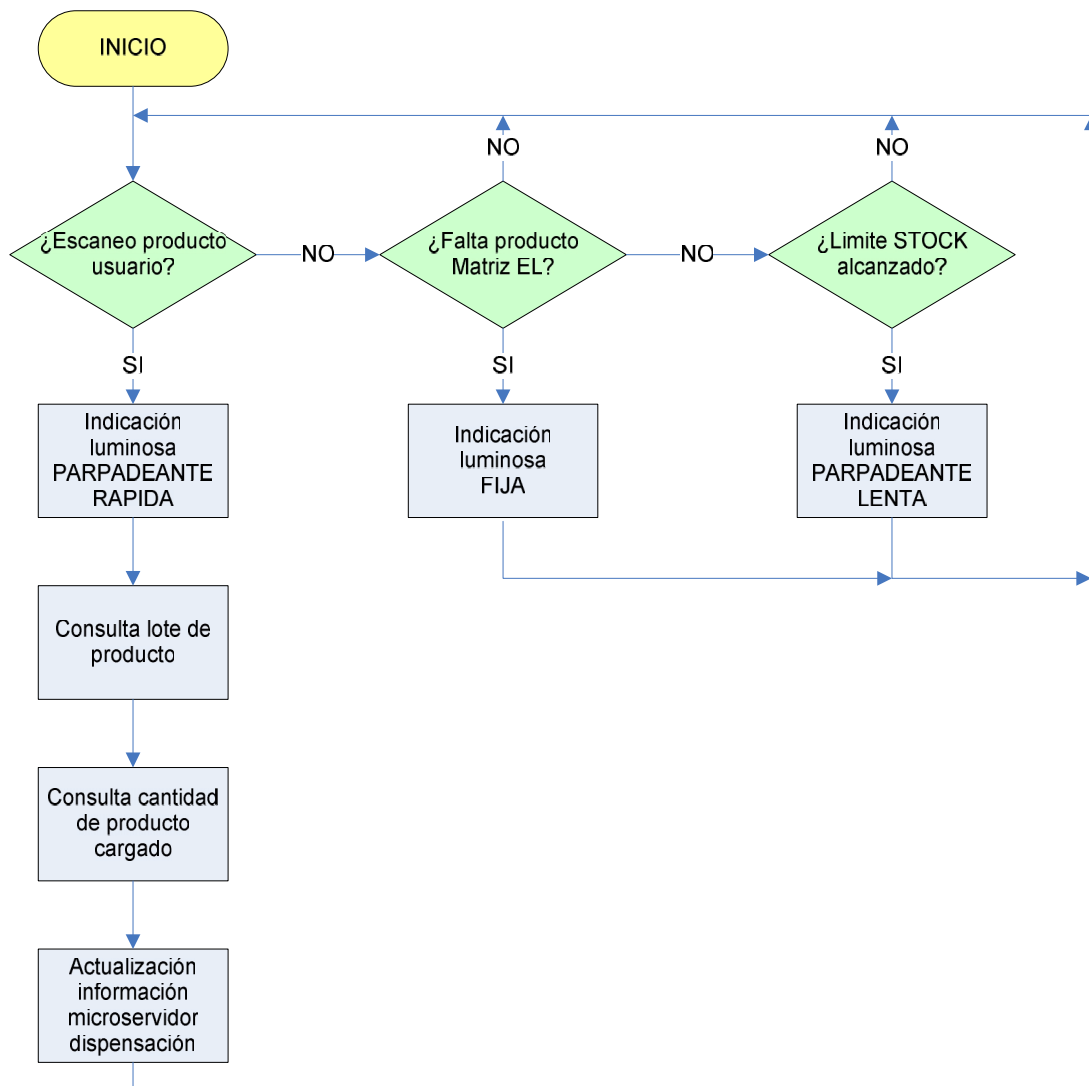


Figura 3.6. Organigrama del algoritmo de la Arquitectura de Control Web 2.0 para el proceso de reposición de los carriles.

En la aplicación de preparación de pedidos, para conseguir una alta velocidad de preparación resulta fundamental disponer de un correcto nivel de carga en los carriles de los dispensadores, evitando así el vaciado de carriles durante el proceso de preparación con la consiguiente necesidad de intervención de operarios. Por este motivo, los microservidores de reposición permiten una función adicional mediante el control del nivel de stock presente en el carril. Es posible configurar un nivel de stock para cada carril individual, de forma que al alcanzar dicho nivel los leds se activen con un modo parpadeo lento, para notificar de una forma sencilla al operario los primeros carriles que debe atender durante su trabajo de carga.

La carga de los carriles es notificada a los microservidores de reposición, que se encargan de la comunicación de dichos datos hacia el microservidor de dispensación asociado a ese mismo carril, de manera que la información entre ambos equipos esté continuamente sincronizada.

### **3.3 Conceptualización de los microservidores de la Arquitectura de Control Web 2.0**

Para llevar a cabo el desarrollo experimental de la Arquitectura de Control Web 2.0 ha sido necesario desarrollar las tarjetas electrónicas, carcasas plásticas, programas informáticos y resto de elementos que dan soporte a los microservidores utilizados en la aplicación robótica cuya funcionalidad experimental es analizada en esta tesis doctoral. Los sistemas de microservidores que están presentes en el mercado no disponen de las funcionalidades necesarias para el desarrollo de los algoritmos requeridos por la arquitectura.

De hecho, se considera que la Arquitectura de Control Web 2.0 va a requerir el desarrollo hardware de nuevos sistemas basados en microservidor en gran parte de las aplicaciones de control industrial en las que pueda ser aplicada, debido a que la arquitectura no contempla el uso de autómatas y por las siguientes razones adicionales:

1. Cada aplicación de control industrial requiere el empleo de  $n$  entradas que pueden ser distintas tanto en número como en naturaleza de las señales a gobernar, por ejemplo: sensores analógicos o digitales, sensores de salida TTL, de 24 V o en colector abierto, sensores de baja o alta frecuencia, etc.
2. Cada aplicación requiere normalmente la actuación sobre un determinado dispositivo de salida, lo que puede requerir señales de tipo TTL, de 24 V o sin tensión, señales para regulación de motores de tensión continua o alterna monofásicos o trifásicos, salidas analógicas para control variable de electroválvulas, salidas con regulación PWM del ciclo de trabajo, etc.

3. La Arquitectura de Control Web 2.0 presentada en la tesis doctoral está concebida para ser eficiente en aplicaciones de control con gran número de señales a gobernar, por lo que requiere el empleo de un gran número de microservidores distribuidos en red, lo que hace que el coste de estos elementos sea un factor crítico, luego deberán estar adecuados en sus características funcionales a cada aplicación.
4. El programa de control residente en el microservidor, si bien puede ser modificado de forma remota, tiene unas características determinadas de capacidad de computación y de almacenamiento asociadas a cada aplicación, lo que hace que sea más óptimo en relación rendimiento/coste el uso de un determinado dispositivo de control para el microservidor, entre los que se encuentran: un microcontrolador, un DSP (*Digital Signal Processor*) o un microprocesador.

El microservidor para la Arquitectura de Control Web 2.0 es un dispositivo electrónico que debe cumplir con una serie de requisitos funcionales para ser adecuado a las aplicaciones de control industriales a las que está destinada fundamentalmente dicha arquitectura. Los principales componentes que lo forman, cuyo diagrama de bloques funcional y descripción ampliada es mostrada en los siguientes apartados, son:

- I. **Unidad de procesamiento:** es el núcleo principal del microservidor y se encarga de la ejecución del algoritmo de control así como del procesamiento de las comunicaciones con el servidor principal de la arquitectura. Esta unidad puede estar formada por microcontroladores, DSP's o microprocesadores.
- II. **Elemento de red:** es el circuito encargado de manejar las comunicaciones Ethernet tanto a nivel de enlace físico como de acceso. Puede ser un circuito totalmente independiente, o en las configuraciones más modernas recomendadas, integrar el nivel de enlace dentro de la propia arquitectura interna del microcontrolador.
- III. **Circuitos de acondicionamiento de entradas/salidas:** un microservidor para aplicaciones de control, es un circuito que debe interactuar con señales del exterior, tanto para su lectura como para su control. En este sentido, son fundamentales los circuitos de acondicionamiento de las señales de los sensores y de los actuadores que serán gobernadas en tiempo real por la unidad de procesamiento conforme el algoritmo de control y las órdenes recibidas por las comunicaciones.

### 3.3. Conceptualización de los microservidores de la Arquitectura de Control Web 2.0

- IV. **Circuito de alimentación:** como dispositivo destinado a una aplicación de control industrial, el sistema de alimentación debe ser robusto y estable, para lo que se recomienda el diseño en base a tecnología conmutada de fuente de alimentación.
- V. **Bus de desarrollo:** es un conector para el acceso local a las capacidades de depuración en circuito y programación de la Unidad de Procesamiento utilizada por el microservidor, si bien cabe destacar, que una vez programado el dispositivo, su reconfiguración también puede ser realizada de forma remota a través de las comunicaciones.
- VI. **Bus de expansión:** la arquitectura nuclear del diseño del microservidor de control está formada por los cinco bloques funcionales descritos anteriormente, pero para ciertas aplicaciones de control industrial pueden ser necesarias funcionalidades específicas, como reloj/calendario, control específico de señales, etc.

Para estos casos, se ha considerado la implementación de un bus de expansión serie síncrono en el interior del microservidor que permita la expansión de las características de la Unidad de Procesamiento mediante el empleo de circuitos externos.

A continuación se muestran dos diagramas funcionales de microservidores que contienen los bloques funcionales descritos. El diagrama de la Fig. 3.7 es la opción más habitual, emplea como unidad de procesamiento un dispositivo tipo microcontrolador o DSP. Este tipo de chip tiene una arquitectura cerrada, con unas capacidades de memoria y procesamiento preestablecidas, pero tiene un coste muy competitivo y se considera válido para la mayoría de las aplicaciones industriales en las que serán aplicados los microservidores en la Arquitectura de Control Web 2.0.

El diagrama de la Fig. 3.8 muestra la arquitectura del microservidor empleando un microprocesador como unidad de procesamiento. Se trata de una arquitectura abierta que permite una mayor flexibilidad de diseño pero que tiene un mayor coste y requiere más espacio físico para el circuito impreso. Esta solución puede ser considerada si el número de sistemas basados en microservidor a fabricar no es muy alto, de forma que puede valorarse el sobrecoste de esta arquitectura frente a sus posibilidades de crecimiento y expansión futuras. Por el contrario, para las aplicaciones en las que se van a instalar cientos o miles de dispositivos y con una funcionalidad perfectamente determinada y sin posibilidades de expansión más allá de actualizaciones firmware, la opción basada en microcontrolador es la arquitectura preferente.

### 3. Diseño de la Arquitectura de Control Web 2.0 y algoritmos

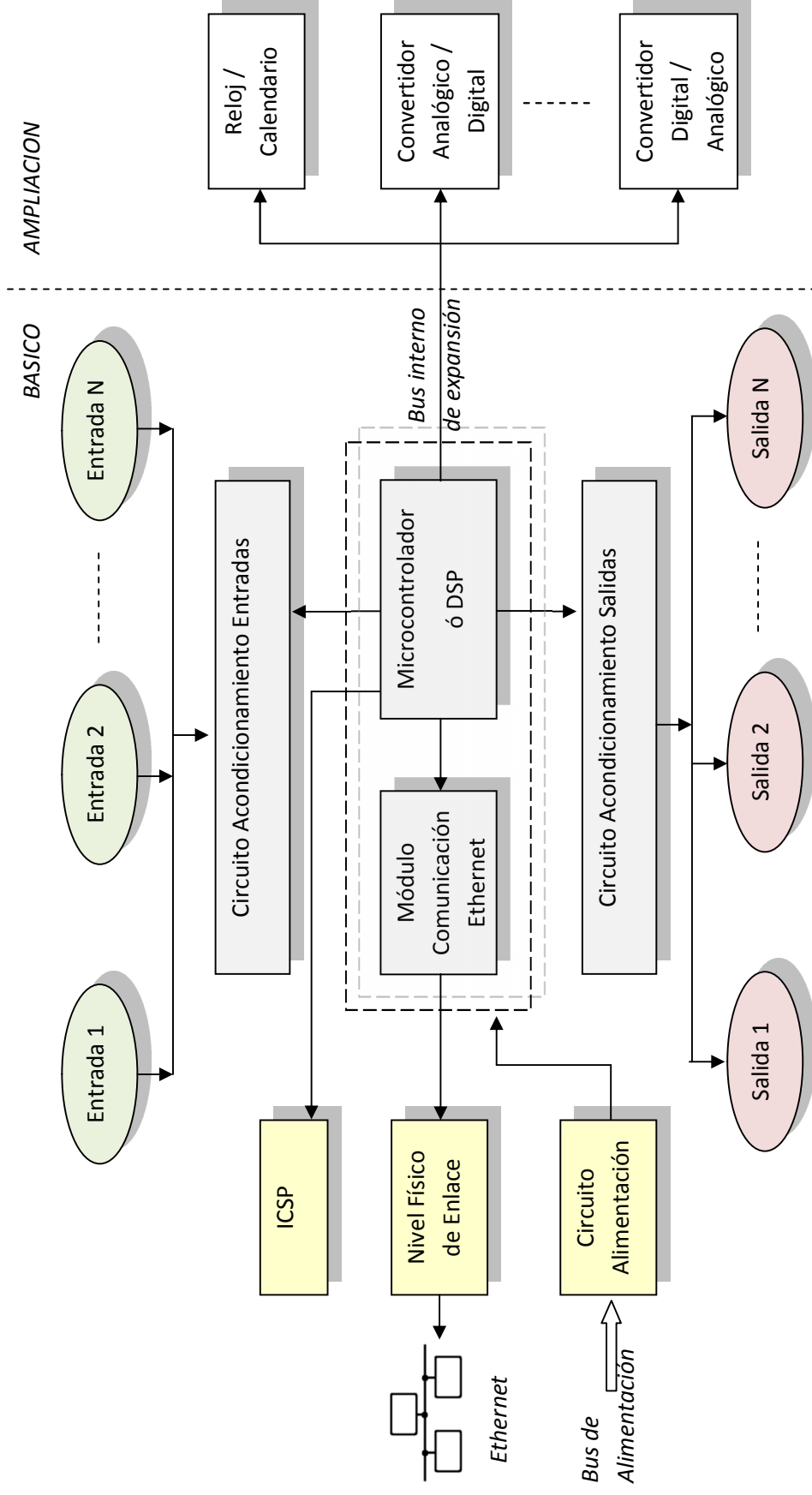


Figura 3.7. Arquitectura de microservidor para Arquitectura de Control Web 2.0 basado en microcontrolador o DSP.

### 3.3. Conceptualización de los microservidores de la Arquitectura de Control Web 2.0

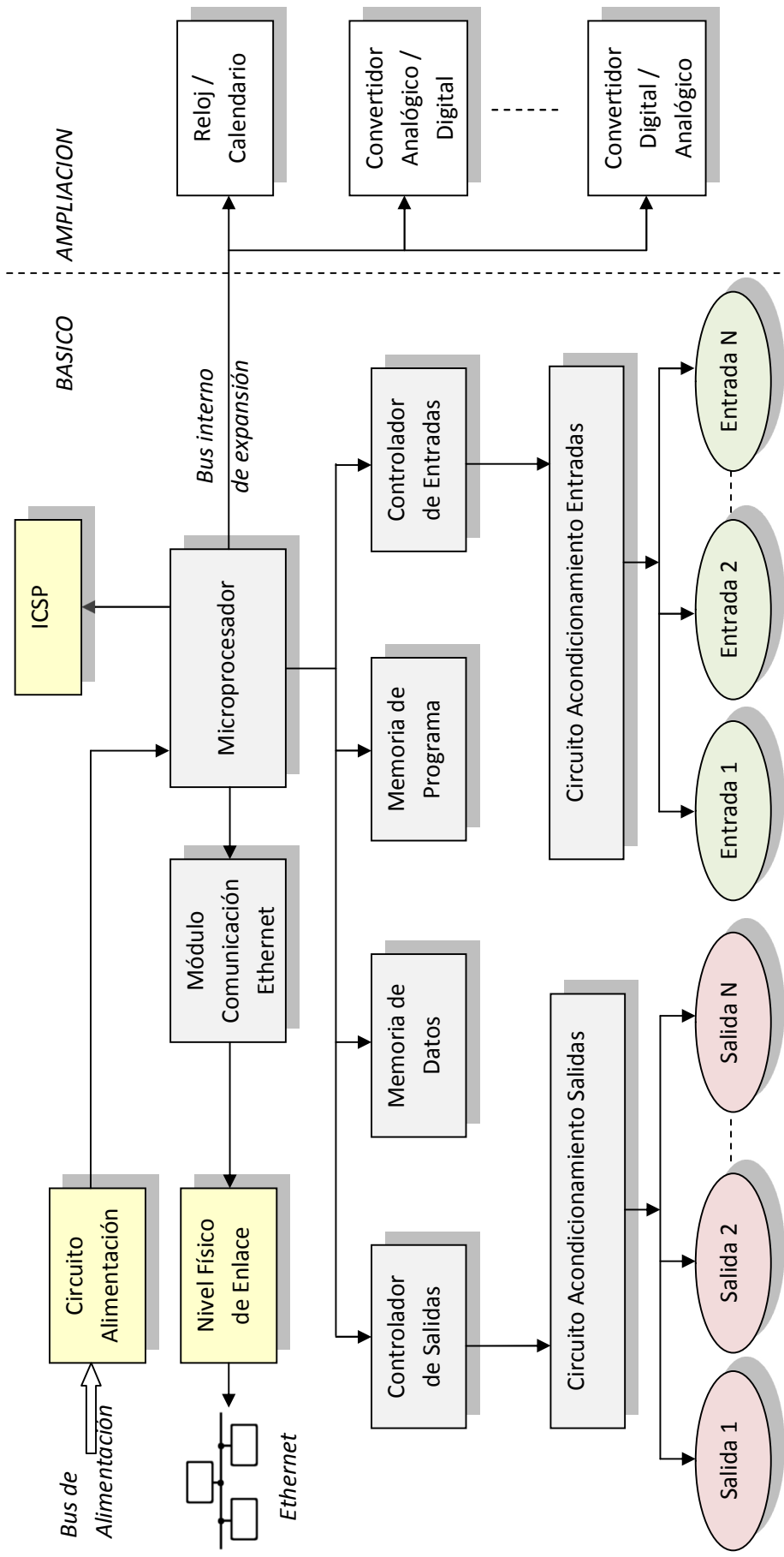


Figura 3.8. Arquitectura de microservidor para Arquitectura de Control Web 2.0 basado en microprocesador.

A continuación se muestra una descripción ampliada de cada uno de los componentes que pueden formar parte de la arquitectura de microservidor para la Arquitectura de Control Web 2.0. Existen diferentes alternativas para cada uno de estos componentes, si bien se sugiere en cada uno de los elementos la opción preferente para las aplicaciones de control.

#### ***3.3.1 Unidad de procesamiento***

La unidad de procesamiento del microservidor es el elemento fundamental del diseño de este dispositivo. Existen tres alternativas fundamentales, en base a la capacidad de cálculo y de almacenamiento necesaria.

La opción más habitual es el microcontrolador, ya que es un componente electrónico que incluye tanto una unidad aritmético/lógica, como los elementos básicos necesarios para el desarrollo de aplicaciones de control, como son la memoria de programa y de variables y el acceso directo a señales de entrada y de salidas a través de sus pines. El campo de los microcontroladores ha evolucionado a gran ritmo en la última década y existe en la actualidad una gran gama de dispositivos con diferentes características para adaptarse a la mayoría de aplicaciones básicas de control y con un coste muy competitivo.

Otra de las razones por las que se considera a los microcontroladores como uno de los elementos clave en el desarrollo de microservidores para esta arquitectura es la aparición de microcontroladores con capacidades de comunicación Ethernet integradas en el propio hardware. Esto significa que el mismo chip que puede almacenar y ejecutar el programa de control accediendo a sus pines a las entradas y las salidas, implementa en su interior un nivel de acceso completo a Ethernet y enlazado con su nivel de arquitectura interna a nivel de interrupciones. Todo ello a un coste muy competitivo respecto al empleo de autómatas industriales.

Los DSP (*Digital Signal Processor*) son la segunda opción para la elección de la unidad de procesamiento (Lyons, 2010). Su principal diferencia con un microcontrolador reside en las características de procesamiento de su unidad lógica, que son mucho más potentes y están orientadas a la realización de cálculos matemáticos complejos. Estos dispositivos también destacan por un tratamiento muy rápido de las señales de entrada, por lo que son la mejor elección en aquellas aplicaciones de microservidores en las que necesitemos una potencia de operación mayor que la que nos prestan los microcontroladores. Los DSP's tienen por el contra un precio razonablemente superior al de los microcontroladores.

Un microprocesador sería la última opción a escoger para el desarrollo del microservidor de control en la Arquitectura de Control Web 2.0. Debido a que es un

### 3.3. Conceptualización de los microservidores de la Arquitectura de Control Web 2.0

dispositivo de arquitectura abierta, que requiere de la colocación de todos los elementos como memoria, interfases de entradas y salidas, etc. de forma externa, su desarrollo es más complejo así como el coste de la solución electrónica resultante. A su favor radica la total personalización de las propiedades del sistema así como una capacidad de almacenamiento y cálculo superior a la de los microcontroladores. Dado que en la Arquitectura de Control Web 2.0 las funciones de control están totalmente descentralizadas y cada microservidor realiza tareas muy concretas, no se considera habitual la necesidad del empleo de una arquitectura basada en microprocesador frente a las soluciones de microcontroladores o DSP.

A nivel de programación, los microcontroladores de marcas líderes del mercado, como Microchip o Atmel disponen de una gran gama de opciones. De forma general, los propios fabricantes ofrecen entornos de lenguajes de programación gratuitos a nivel de ensamblador. Cabe destacar que la programación mediante lenguaje ensamblador resuelve un gran número de aplicaciones industriales con los microcontroladores, pero no lo consideramos válido para el desarrollo de microservidores, debido a la complejidad del tratamiento de las comunicaciones de Ethernet en las aplicaciones. Por este motivo hay que optar por un lenguaje de programación de más alto nivel, como el lenguaje C o el Python.

Tanto los fabricantes como empresas desarrolladoras de software externas, ofrecen compiladores para el desarrollo de aplicaciones en C, que facilitan el desarrollo de aplicaciones informáticas con una cierta complejidad como es el caso de los microservidores. Al empleo de estos compiladores hay que añadir la posibilidad del uso de las capacidades internas de diagnóstico y emulación que integran los microcontroladores más modernos, y que permiten mediante una conexión de tipo ICSP depurar en circuito la aplicación que está siendo desarrollada en lenguaje C.

Algunas familias de microcontroladores disponen de una unidad de arranque, llamada *bootloader*, que permite ejecutar una subrutina al inicio del programa independiente del programa de control que tenga almacenado (Pratt y Zhong, 2014). Esta misma funcionalidad se puede conseguir con el desarrollo de aplicaciones para microcontrolador empleando un compilador de alto nivel que implementa una arquitectura informática de tipo sistema operativo en el interior del microcontrolador, como la herramienta PCWH de la empresa desarrolladora de software CCS.

Para que un microservidor tenga todas las funcionalidades de control que se han considerado, debe tener este sistema de programación, ya que es deseable que su programa de control o configuración pueda ser modificada de forma remota a través de la propia red de Ethernet.

También cabe señalar que en la arquitectura del microservidor se identifica un conector de tipo ICSP (*in circuit serial programming*) que opcionalmente puede ser accesible desde el cuerpo exterior del microservidor, y que puede ser utilizado tanto en las etapas de desarrollo de aplicaciones como en las etapas de mantenimiento. Durante el desarrollo, gracias al interfaz ICSP puede realizarse depuración en circuito del microprocesador, lo que facilita las tareas de programación. Durante el mantenimiento, mediante este conector puede modificarse el programa de control o la configuración del microservidor, es decir, un control local de las mismas funcionalidades que también pueden ser accedidas de forma remota por Ethernet.

#### **3.3.2 Circuito de alimentación**

La Arquitectura de Control Web 2.0 considera el empleo en la instalación de al menos una fuente de alimentación industrial que transforma la señal alterna de la red eléctrica en una tensión continua a 24 V, que es una tensión segura para las personas y estandarizada en las aplicaciones industriales.

Los microservidores reciben esta tensión de alimentación de 24 V, pero la unidad de procesamiento y demás circuitos integrados que conforman la tarjeta, necesitan una tensión continua de un valor inferior, normalmente 5 V o 3,3 V. Para realizar esta conversión de tensiones hay dos tecnologías que pueden emplearse principalmente, reguladores lineales de tensión o reguladores conmutados.

La recomendación es el empleo de reguladores de tensión conmutados, puesto que consiguen una mayor eficiencia energética y un rendimiento muy alto, es decir, sin prácticamente emisión de calor en el circuito (Singh, Bhuvanewari y Bist, 2014). La desventaja de esta opción consiste en un mayor coste y mayor cantidad de componentes electrónicos en el circuito, pero debido a la orientación de aplicaciones industriales de los microservidores en esta arquitectura, la robustez y mejor rendimiento de este tipo de fuente resulta determinante.

En la Fig. 3.9 se muestra un circuito de tipo fuente de alimentación conmutada, que trabaja en un rango de tensiones de entrada desde los 3 V hasta los 40 V y que genera 5 V a la salida con una capacidad de corriente de 1,5 A. Emplea como principal componente regulador el circuito integrado MC33063, que es de uso muy extendido en electrónica industrial. Es el circuito recomendado para el diseño de microservidores que puedan funcionar en el rango de tensiones y corrientes definidos.

### 3.3. Conceptualización de los microservidores de la Arquitectura de Control Web 2.0

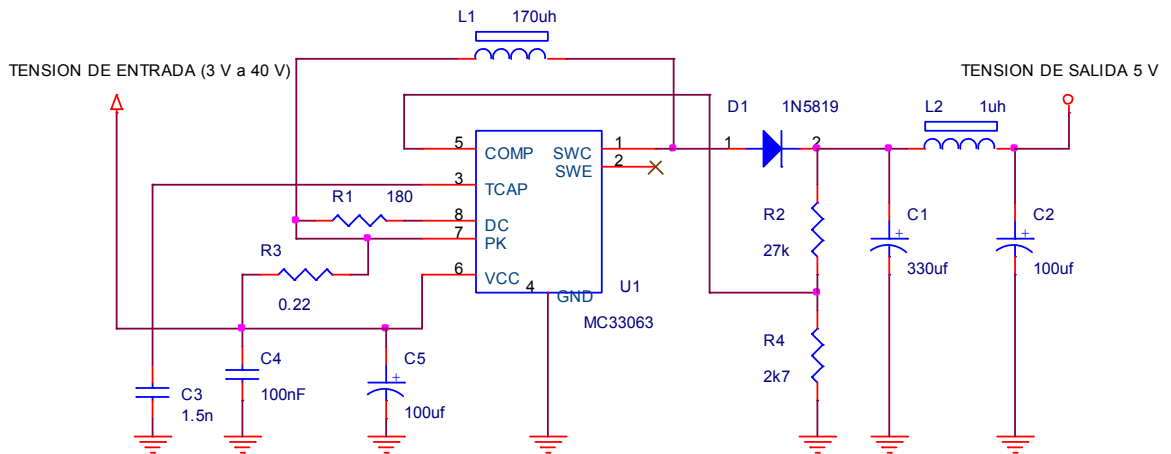


Figura 3.9. Circuito de alimentación conmutado, válido para su uso en microservidores.

#### 3.3.3 Unidad de Red

Para que el microservidor se comunique con su entorno en esta arquitectura de control necesita un nivel de acceso a red de tipo Ethernet. A nivel general, esto se consigue combinando el empleo de diversos circuitos integrados específicos de acceso a red (Drumea y Svasta, 2011), como el circuito integrado ENC28J60 del fabricante Microchip.

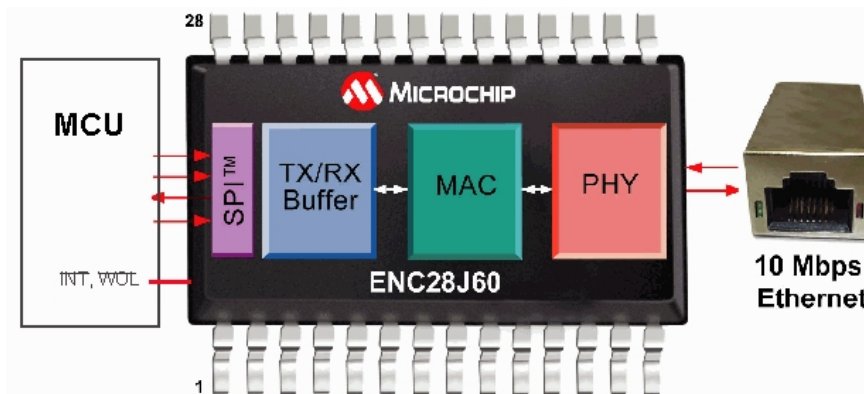


Figura 3.10. El circuito ENC28J60 da acceso a Ethernet a través del bus SPI a los microcontroladores, DSP o microprocesadores.

El circuito integrado es un controlador completo de nivel de comunicación Ethernet, que incorpora tanto el hardware necesario para el nivel de acceso de la red Ethernet como la capa de acceso físico, es decir, la adaptación de niveles eléctricos. Este circuito integrado se comunica con el microcontrolador o DSP a través de un bus de

### 3. Diseño de la Arquitectura de Control Web 2.0 y algoritmos

comunicación serie síncrono denominado SPI. Este bus utiliza una señal de reloj y otras señales síncronas para la transmisión y recepción de datos. El controlador también genera señales digitales que pueden ser utilizadas por el microcontrolador a modo de interrupción externa, para realizar avisos de entrada de nuevos datos en el bus.

Hay que señalar que en algunas aplicaciones industriales que empleen la Arquitectura de Control Web 2.0 va a ser necesario emplear sistemas de seguridad en las comunicaciones, todo dependiendo del tipo de acceso externo que se quiera dar al sistema de control. Por ejemplo, para aquellos sistemas en los que se quiera garantizar que el acceso para la monitorización y control remoto sólo está determinado para ciertos usuarios. Para estos casos, existen circuitos de comunicación como el ENC624J600 que combina un nivel de control de acceso al medio (MAC), un interfaz de enlace físico y un motor de seguridad hardware criptográfico. Se conecta al microcontrolador mediante el mismo tipo de bus serie SPI y puede almacenar hasta 24 Kbytes de mensajes de transmisión en una memoria SRAM local.

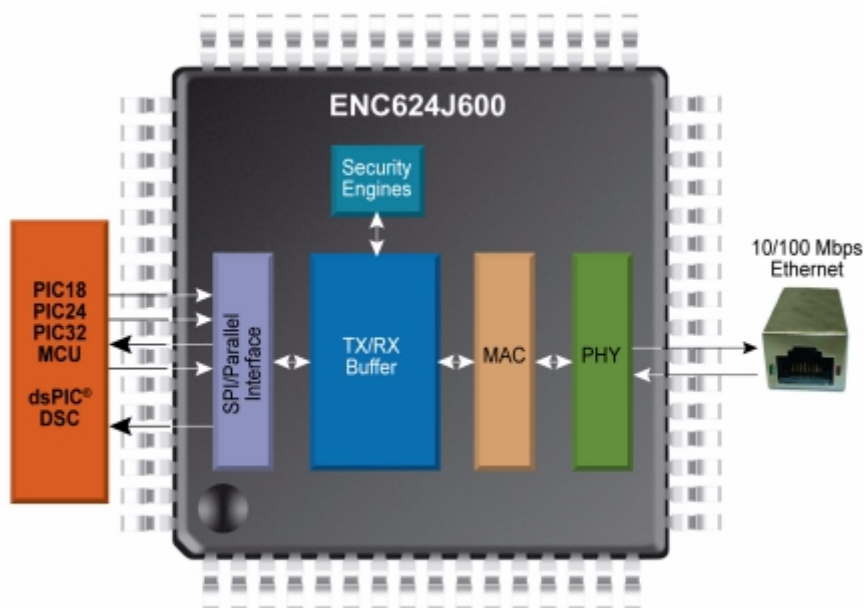


Figura 3.11. El circuito ENC624J600 da acceso a Ethernet a través del bus SPI con un motor de seguridad hardware criptográfico.

El sistema criptográfico de este chip incorpora algoritmos de computación RSA, MD5 y SHA-1 para crear protocolos criptográficos como el SSL/TSL, SHH y varios tipos de VPNs. Gracias a este controlador se permiten transmisión Ethernet seguras

### 3.3. Conceptualización de los microservidores de la Arquitectura de Control Web 2.0

con código fuente reducido, simplificando los esfuerzos de desarrollo de aplicaciones.

A pesar de la existencia de los circuitos integrados descritos que incorporan tanto el nivel de acceso al medio como el interfaz físico de Ethernet, la verdadera revolución en las comunicaciones Ethernet para el desarrollo de microservidores, necesarios para la completa implementación de la Arquitectura de Control Web 2.0, son los microcontroladores con capacidades Ethernet integradas que han aparecido en los últimos años (Ab-Rahman, Saupe, Premadi y Jumari, 2009). Estos chips combinan un microcontrolador moderno con arquitectura de red Ethernet integrado y permiten que la aplicación de control sea aún más rápida y sencilla de implementar, puesto que las funcionalidades de red son accesibles por la propia CPU del microcontrolador desde su arquitectura nativa, y pueden configurarse niveles de interrupción en la transmisión y recepción de mensajes.

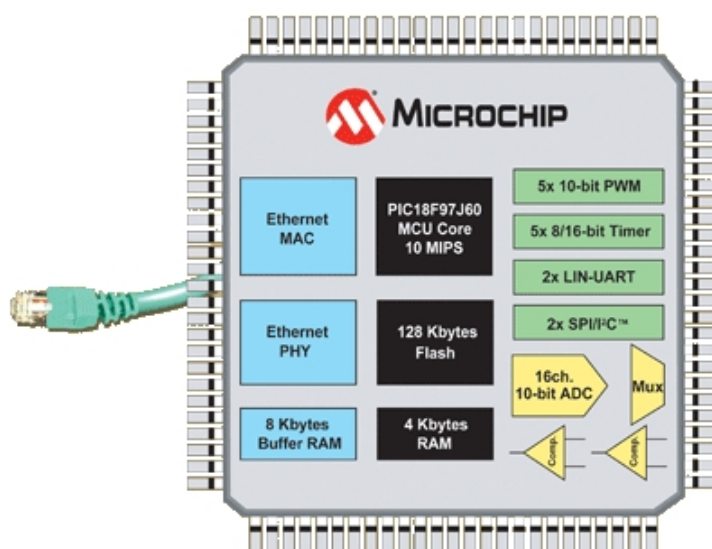


Figura 3.12. La familia de microcontroladores PIC 18F97J60 incorpora el acceso a red Ethernet en su propia arquitectura interna.

A nivel de la conexión física con el bus Ethernet, se recomienda que el microservidor tenga al menos dos conectores de red, uno para realizar la conexión de entrada de datos, y un segundo para sacar la red hacia el siguiente microservidor, facilitando así el cableado para la creación de esta distribución de microservidores en la arquitectura de control. El tipo de conector recomendado así como la asignación de las funciones de sus pines, es la misma que en cualquier dispositivo estándar con norma de comunicación Ethernet.

### 3.3.4 Entradas y salidas del microservidor

El tratamiento de las señales de entrada y de salida es uno de los aspectos importantes de los microservidores de la Arquitectura de Control Web 2.0 debido a que en una aplicación industrial de control la robustez de la lectura de las entradas y la confiabilidad en la generación de las señales de salida es básico para un correcto funcionamiento.

En este aspecto el microservidor de control se considera que debe tener una arquitectura de entradas y de salidas a nivel electrónico similar a la de los autómatas industriales. Esto requiere un aislamiento galvánico que se consigue habitualmente mediante el empleo de circuitos optoacopladores que sirvan para aislar eléctricamente el interior del microservidor de las señales eléctricas manejadas desde o hacia el exterior. Cuando se utilicen como circuitos de aislamiento hay que considerar en todos los casos el rango de frecuencias de funcionamiento de las señales que van a ser leídas, puesto que hay que seleccionar un optoacoplador con un ancho de banda apropiado. Por ejemplo, es diferente la lectura de un sensor de conteo de cajas en una cinta transportadora que un sensor procedente de un encóder asociado a un servomotor que genere 5.000 pulsos por revolución.

Para el circuito de acondicionamiento de las señales de entrada, existen a nivel eléctrico varias posibilidades, como el acondicionamiento de señales a niveles TTL, libres de tensión o a 24 V. Esta última posibilidad es la más habitual en las aplicaciones de control ya que existe una gran variedad de sensores industriales que emplean transistores NPN o PNP con estos niveles de tensión, siendo el tipo PNP el más utilizado en las aplicaciones de control europeas y el NPN el más empleado en la automatización en Estados Unidos y Japón.

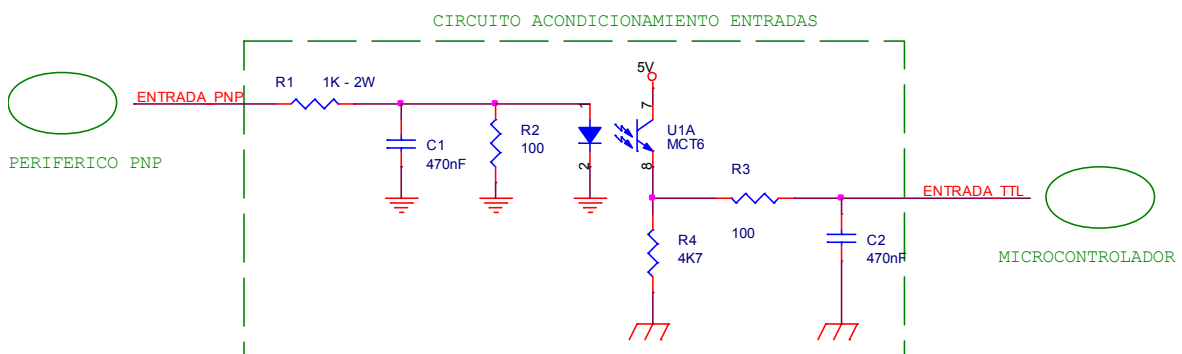


Figura 3.13. Circuito de acondicionamiento optoacoplado de señales industriales de entrada de tipo 24 V PNP diseñado y recomendado. La señal de entrada PNP es una de las más habituales en el entorno industrial.

### 3.3. Conceptualización de los microservidores de la Arquitectura de Control Web 2.0

Para las salidas generadas por el microservidor de control hay también una gran gama de opciones, ya que las salidas pueden ser simples señales digitales optoacopladas y acondicionadas a distintos niveles de tensión, o señales específicas para el control de motores o electroválvulas.

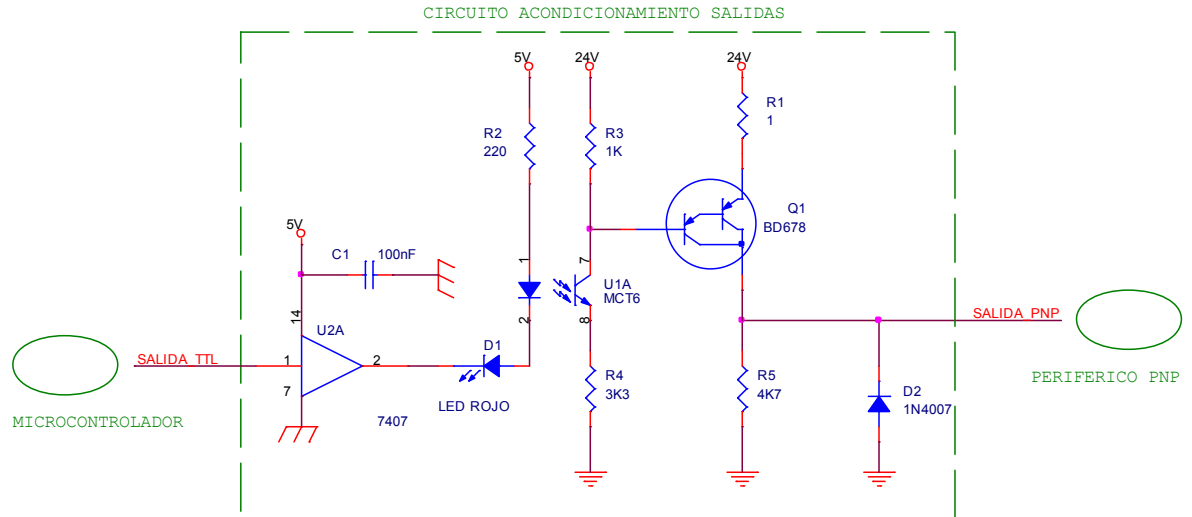


Figura 3.14. Circuito de acondicionamiento optoacoplado de señales industriales de salida de tipo 24 V PNP diseñado y recomendado. La señal de salida PNP es una de las más habituales en el entorno industrial.

Otro caso habitual a considerar es el tratamiento de señales de entrada o de salida de tipo analógico, que requiere el empleo de convertidores analógico/digitales o digitales/analógicos en el interior del microservidor. Estos circuitos pueden llegar a estar integrados dentro de la arquitectura del propio microcontrolador del microservidor, o ser circuitos externos al mismo y que son controlados a través del bus de expansión concebido en la arquitectura del microservidor. En este aspecto también podemos señalar que un caso particular puede ser el uso de convertidores externos para aquellos casos en los que la resolución o velocidad de conversión de los convertidores internos del microcontrolador no cumplan con los requisitos necesarios para la aplicación.

#### 3.3.5 Bus Interno de Expansión

Como se ha indicado anteriormente, va a ser habitual tener que personalizar las características y funcionalidades de cada microservidor de control a su aplicación industrial particular. Por este motivo, en la arquitectura de los microservidores se ha considerado un bus de expansión interno como medio para el que realizar dichas

expansiones. Se puede decir, que este bus es un elemento de uso opcional y no es un elemento necesario para el desarrollo de un microservidor de control funcional básico, pero es el medio a través del cual podemos fácilmente ampliar sus capacidades.

En el caso de la arquitectura basada en microprocesador, el bus de expansión es innato a su arquitectura abierta, es decir, a través del mismo bus de datos y de direcciones del que cuelgan las memorias, controladores y demás dispositivos, podemos realizar ampliaciones a otros elementos electrónicos. Sin embargo, en el caso de los microcontroladores o los DSP's, hay que utilizar buses de comunicación adicionales, entre los que destacan el bus I<sup>2</sup>C y el bus SPI por su popularidad y cantidad de periféricos de expansión disponibles para estos buses.

Tanto el bus I<sup>2</sup>C como el SPI son buses de comunicación en serie y de tipo síncrono, lo que les permite una gran velocidad de comunicación. Emplean normalmente los mismos niveles de tensión a los que es alimentado el microcontrolador, es decir, 5V o 3,3V, y se alcanzan velocidades de hasta 10 Mbps. Algunos ejemplos de dispositivos habituales que pueden ser utilizados en este bus para aplicaciones de control son: chip reloj/calendario, convertidores A/D o D/A de alta resolución, memorias no volátiles auxiliares, controladores de leds por corriente, etc.

#### **3.4 Patente del microservidor de dispensación**

En este apartado se presenta el diseño de la tesis industrial para dar solución a la no existencia de un sistema basado en microservidor adaptado al sistema de dispensación requerido en la Arquitectura de Control Web 2.0. Este diseño original combina una tarjeta electrónica a medida con un microcontrolador, sensores, actuadores electromagnéticos y un diseño mecánico, así como una programación Web específica para dotar de la funcionalidad software necesaria al microservidor en la aplicación industrial. En este apartado se describe en detalle este diseño y desarrollo.

La Arquitectura de Control Web 2.0 aplicada a la industria de distribución farmacéutica muestra un tipo de instalación basada en microservidores dispensadores que se ubican de forma distribuida a lo largo de baldas inclinadas que disponen de carriles ajustables para ubicar cada tipo de artículo. En la parte trasera de la balda se coloca un microservidor específico equipado con leds indicadores, denominado microservidor de reposición, que es utilizado para mostrar la ubicación de cada producto en el proceso de reposición y avisando de la falta de productos en un carril. Los microservidores dispensadores disponen de una electrónica de control que les permiten estar dotados de un cierto grado de

inteligencia, pudiendo recibir cada dispositivo los datos totales de cada pedido desde un ordenador y dispensando los artículos de cada tipo solicitados de forma rápida y simultánea.

Cada microservidor dispensador está dotado de una electrónica de control individual, un mecanismo empujador basado en un dispositivo electromagnético, un sensor de detección de presencia, un led visualizador y unos conectores para la interconexión a otros dispositivos dispensadores mediante cables. Estos elementos se ubican en el extremo frontal de una estantería o balda que se encuentra inclinada, de manera que todos los productos, de forma cuadrada o rectangular, puedan deslizarse por ella, por efecto de la gravedad. El primer producto introducido en la balda se desliza hasta que hace tope con la pieza de soporte dispuesta en la zona final del elemento dispensador. El resto de productos introducidos en el mismo carril se van colocando uno detrás de otro. Existen unas guías utilizadas para separar cada tipo de producto que es manejado por un dispositivo dispensador diferente. La posición de las guías y la de los dispensadores puede ser ajustada fácilmente para adaptarse a las características de tamaño de los diversos tipos de productos.

Cuando se inicia el proceso de dispensación de un producto, el mecanismo expulsor es activado, haciendo que el producto se eleve por encima del tope, para ser extraído. El siguiente producto del mismo carril se ubica por efecto de la gravedad en el hueco que ha dejado libre el producto que ha sido extraído. Mediante el sensor de detección de presencia colocado en el dispositivo dispensador, se puede comprobar la correcta extracción de cada artículo. También es posible detectar averías y la ausencia de productos en el carril, eventos que son mostrados en el diodo led visualizador del microservidor.

Al tener integrado cada microservidor dispensador una electrónica de control inteligente e individual, no es necesario utilizar autómatas industriales ni sistemas de control centralizados, facilitando la instalación de los dispositivos en distintos niveles de baldas o en armarios distribuidos por una instalación, siendo esta una gran virtud de la arquitectura de control. Todos los tipos de productos pueden ser extraídos al mismo tiempo por los diversos microservidores dispensadores automáticamente, siendo depositados en una cinta transportadora que los lleva hasta un punto de recogida. La instalación de las baldas inclinadas con los microservidores dispensadores puede realizarse en armarios enfrentados para que los productos caigan hacia una misma cinta transportadora y colocando rampas para el frenado de la caída de cada producto desde la ubicación del dispensador hasta la altura de la cinta transportadora.

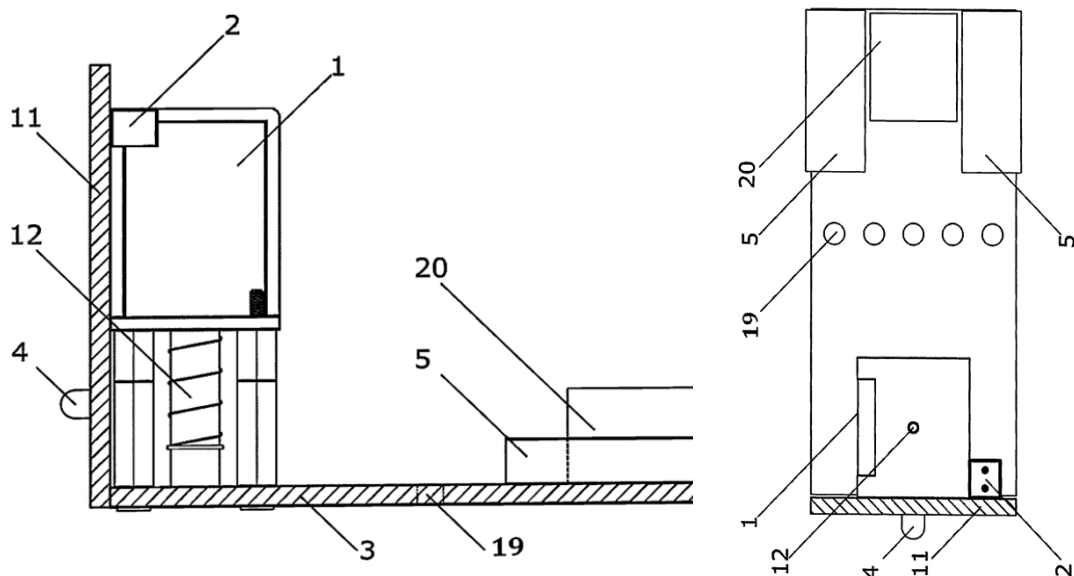
Para iniciar el proceso de dispensación, un ordenador envía a través de Ethernet una trama de comunicación que es recibida por todos los microservidores,

y en función de los productos solicitados, cada uno de forma independiente procede a la preparación de los pedidos notificando a través de la misma red el resultado del proceso de dispensación producido.

Para facilitar el proceso de instalación y las labores de mantenimiento, el diseño mecánico del microservidor permite que sean colocados en estructuras metálicas ranuradas que son independientes de las baldas en las que se ubican los productos. Estas estructuras, con los microservidores dispensadores colocados e interconectados, pueden ser rápidamente instaladas en una balda. En caso de una labor de mantenimiento, un dispensador averiado puede ser extraído de la estructura ranurada individualmente, sin afectar durante la reparación al resto de la instalación.

### **3.4.1 Descripción detallada del microservidor de dispensación**

En la Fig. 3.15 se muestra una vista de perfil y en planta del microservidor dispensador mecánico/electrónico encargado de la dispensación de un tipo de producto en cada carril dentro de la arquitectura de la instalación. El dispositivo dispone de una electrónica de control (20) capaz de recibir, mediante un bus de alimentación y comunicaciones, los datos de cada pedido, para proceder a la extracción de los productos (Trueba, 2010).



*Figura 3.15. Vista de perfil y en planta del diseño del microservidor de dispensación.*

El mecanismo de extracción está basado en un solenoide (1) que al recibir un impulso eléctrico desplaza un vástago (12); de forma que el producto situado encima de él es impulsado superando un tope de frenado (11) de los productos en la balda. El vástago dispone de un muelle que sirve para que éste retorne a su posición de reposo cuando finaliza el impulso eléctrico y que pueda situarse otro producto encima del mecanismo dispensador por acción de la gravedad. La electrónica y el mecanismo accionador se ubican sobre una tarjeta electrónica (3) que dispone de unos agujeros (19) que son empleados para unir el dispositivo a la estructura.

El sensor de detección de presencia (2) es empleado para verificar la correcta extracción del artículo, para detectar la ausencia de productos anunciando la necesidad de reposición mediante un led frontal (4) y para detectar posibles averías en caso de que no se dispense el producto. El led frontal (4) puede ser empleado para mostrar averías del dispensador o falta de productos en el carril y también para funciones de estética cuando su encendido se combina con diodos led ubicados en otros dispensadores. Todas las funciones de control y comunicaciones son realizadas por la electrónica integrada (20) y dos conectores (5) situados a ambos lados de la tarjeta electrónica (3) son utilizados para realizar la interconexión del bus de alimentación y comunicaciones Ethernet entre los dispensadores en las baldas.

En la Fig. 3.16 se muestra la instalación de diversos dispositivos dispensadores en una balda inclinada (8), con diversos elementos dispensadores instalados e intercomunicados mediante el bus (9) de alimentación y comunicaciones. Los productos (10) de distinto tipo se colocan en diversos carriles utilizando separadores (6) entre ellos. La posición de los separadores (6) y de los elementos dispensadores puede ser ajustada fácilmente a las particularidades de tamaño de cada producto, gracias al empleo de estructuras metálicas formadas básicamente por unos perfiles ranurados (7) sobre los que se ajusta la posición de los elementos.

Existe la posibilidad de que un mismo tipo de artículo se ubique en más de un canal. En este caso, los distintos elementos dispensadores encargados de manipular este producto, se coordinan entre sí mediante un bus de comunicaciones (9) para completar el pedido solicitado. Los dispositivos dispensadores se encuentran intercomunicados mediante un bus (9) a través del cual se transmiten las comunicaciones de control y las señales de alimentación para la electrónica, los sensores y los disparadores electromagnéticos.

En la Figura 3.17 se muestra una vista en planta de los microservidores dispensadores, los leds de recarga (13) y diversos tipos de productos (10) ubicados en una balda (8). De los productos, los identificados con las referencias A y B en esta figura se encuentran en reposo haciendo tope con el elemento dispensador y el primer producto C está siendo dispensado tras una activación del solenoide (1) consecuencia de la recepción de un pedido del producto C desde el ordenador

principal. El producto C delantero ha sido levantado por la acción del solenoide (1) que ha impulsado el vástago (12) y ha superado el tope (11) para proceder a su caída hasta una cinta transportadora que lo traslada al punto de recogida.

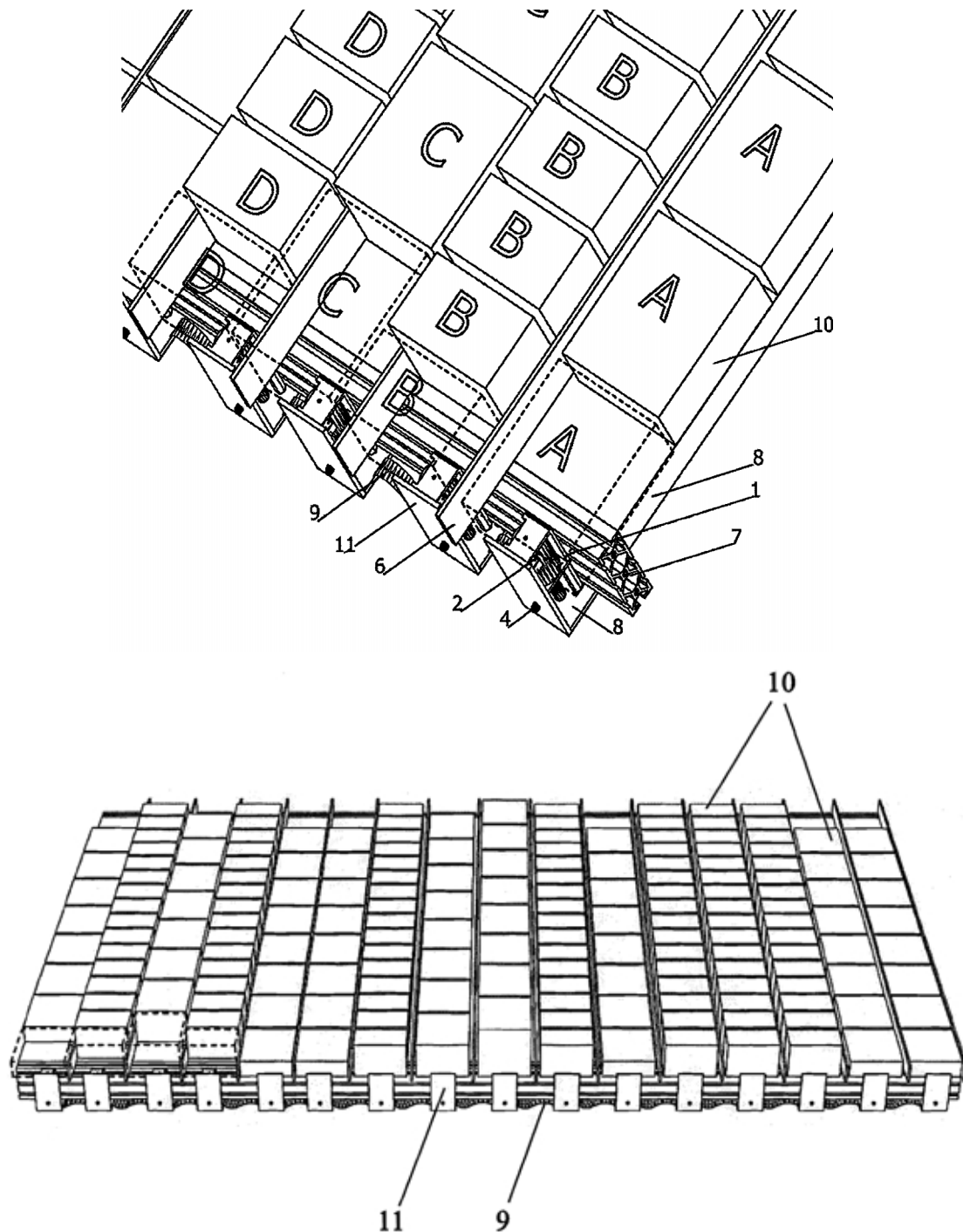


Figura 3.16. Concepto de instalación de los microservidores de dispensación en la balda.

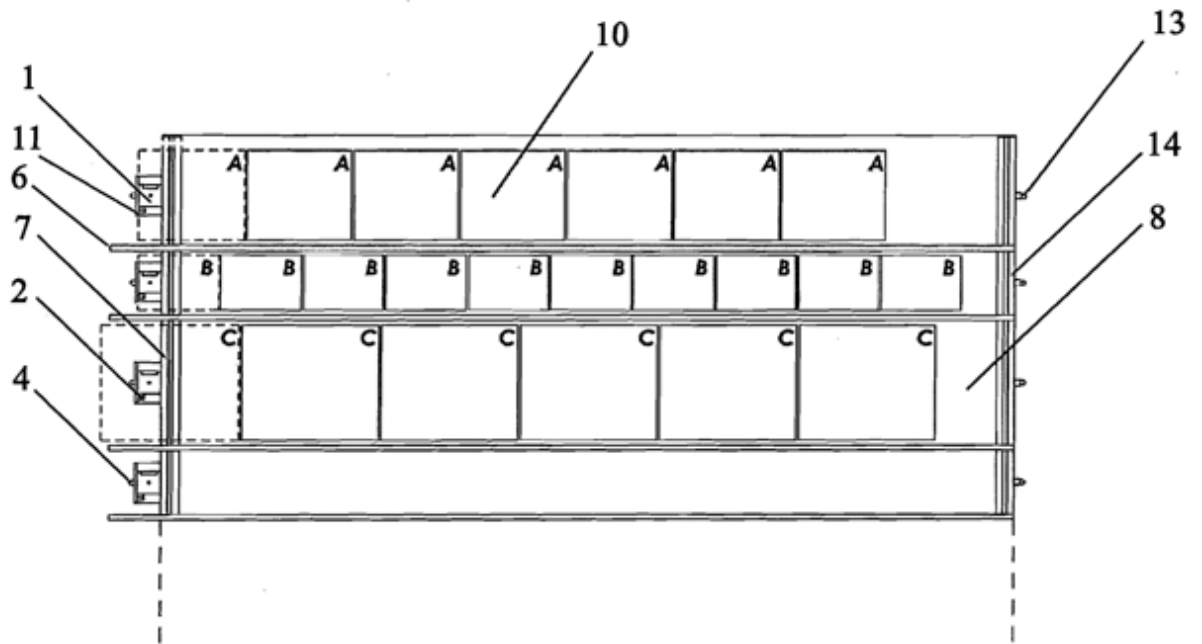


Figura 3.17. Vista en planta de microservidores dispensadores instalados en la balda.

En la Fig. 3.18 se muestra el modo de instalación de los microservidores dispensadores en las baldas inclinadas (8). Los dispensadores se colocan en la estructura ranurada de soporte (7) que es unida a la balda (8) con escuadras (15). Cada elemento dispensador puede ajustarse en la estructura ranurada empleando tornillos deslizantes (17) que son introducidos por los agujeros de la tarjeta electrónica del dispensador (19).

Una estructura ranurada análoga a la señalada con la referencia (7) también se utiliza para fijar la posición del elemento separador (6) entre productos (10) en la zona final de la balda (8). Gracias a la estructura ranurada (7) independiente de la balda (8) y que contiene los elementos dispensadores interconectados, el proceso de instalación de los elementos encargados de la automatización del proceso de extracción de los productos puede realizarse con posterioridad al montaje de los armarios y las baldas o estanterías en la instalación.

También es posible una vez realizada la instalación mover las canaletas separadoras de productos y los elementos dispensadores para adaptar la instalación a productos de distintos tamaños conforme van sucediendo en el tiempo cambios en el uso de la instalación por la aparición de nuevos artículos.

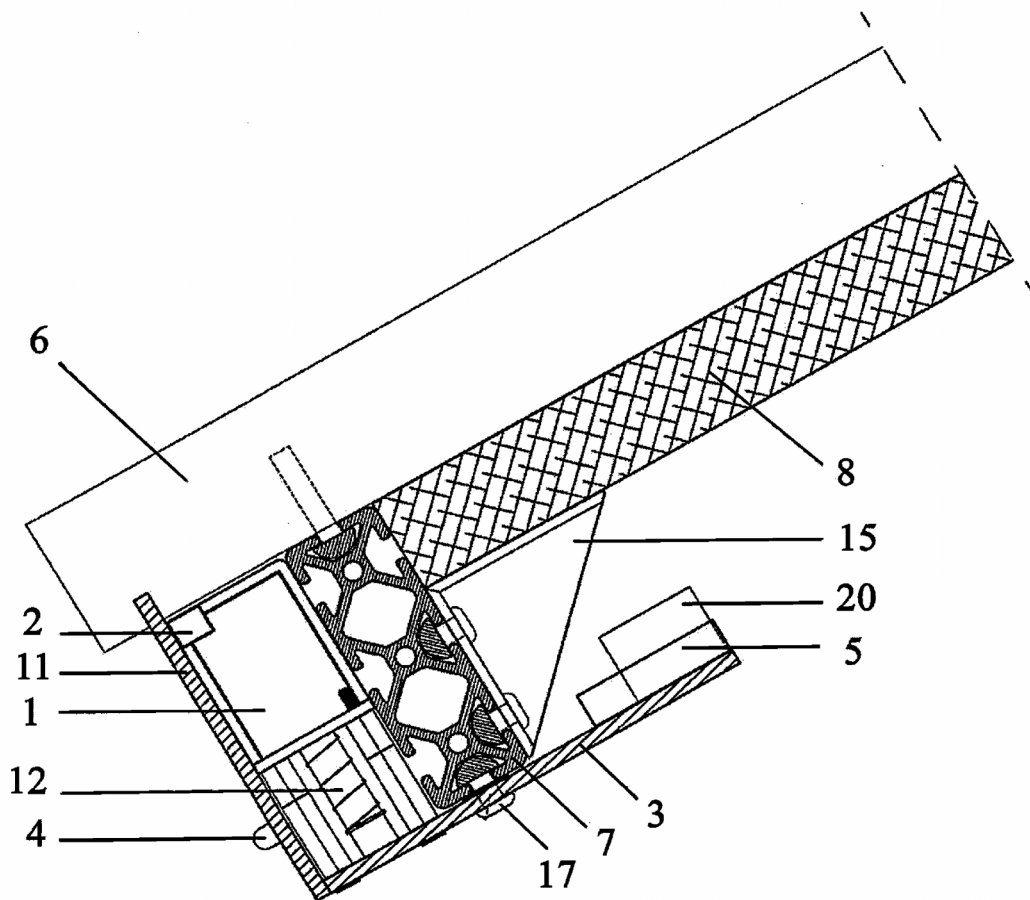


Figura 3.18. Modo de instalación de los microservidores dispensadores.

El proceso de dispensación de un producto se puede apreciar en la Fig. 3.19. La electrónica de control (20) individual del dispensador recibe un pedido del ordenador central de la instalación que en caso de contener algún producto (10) a dispensar ubicado en su carril provoca la activación del solenoide (1) que crea un campo electromagnético que produce la atracción del vástago (12). La salida del vástago por un extremo del cuerpo del solenoide, provoca la elevación en altura del producto (10) identificado como (A1) por encima del tope (11), de forma que este producto (A1) es liberado y comienza la caída hacia la cinta transportadora pasando por las rampas de frenado. El siguiente producto (10) del carril, identificado en la Fig. 3.19 como A2 se mueve por acción de la gravedad hasta ocupar el puesto dejado por el primer producto (A1) dispensado. Antes de que el nuevo producto haya ocupado el espacio del producto que ha sido dispensado, el vástago ha retornado a su posición de reposo gracias a la acción del muelle (24).

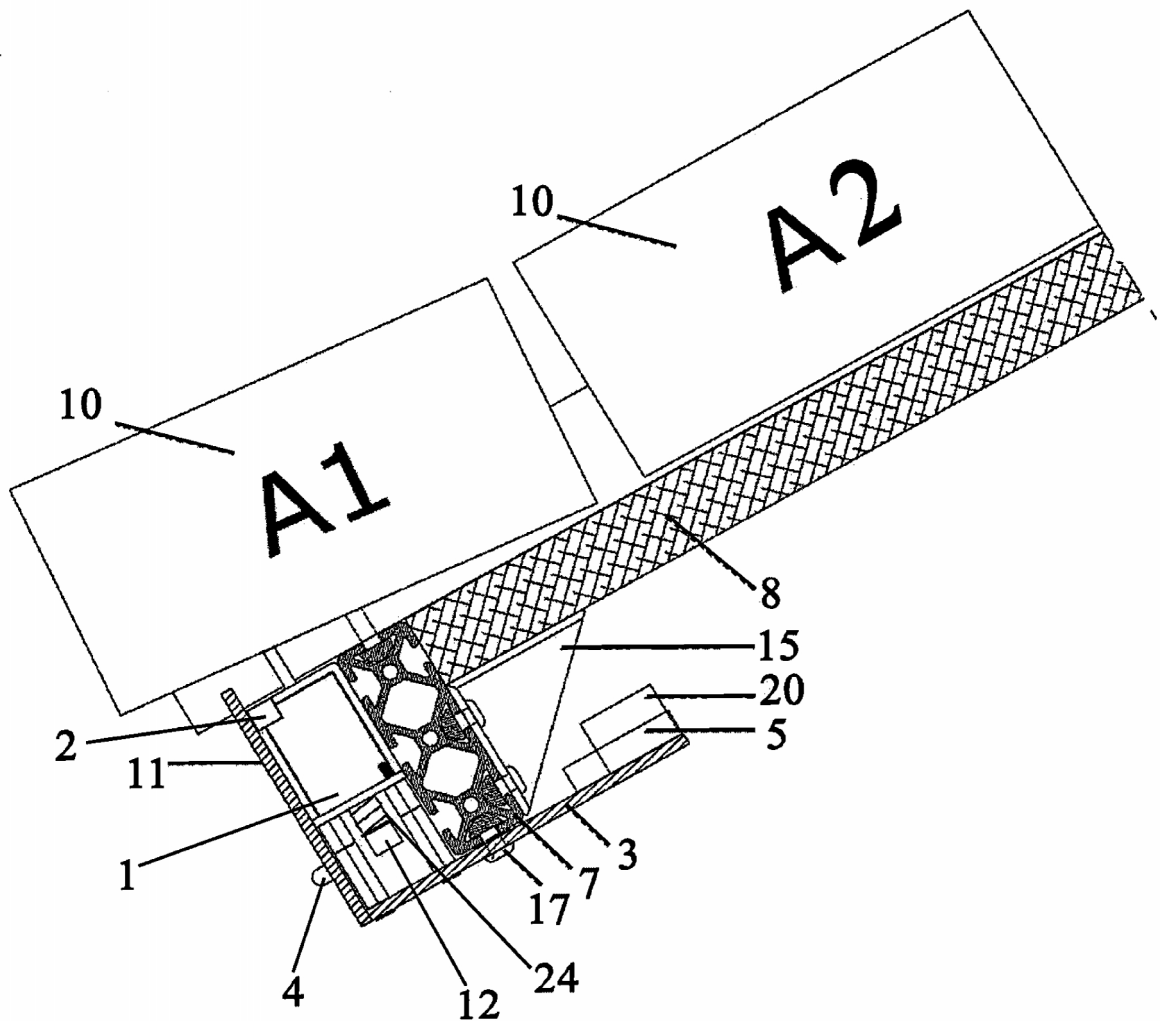
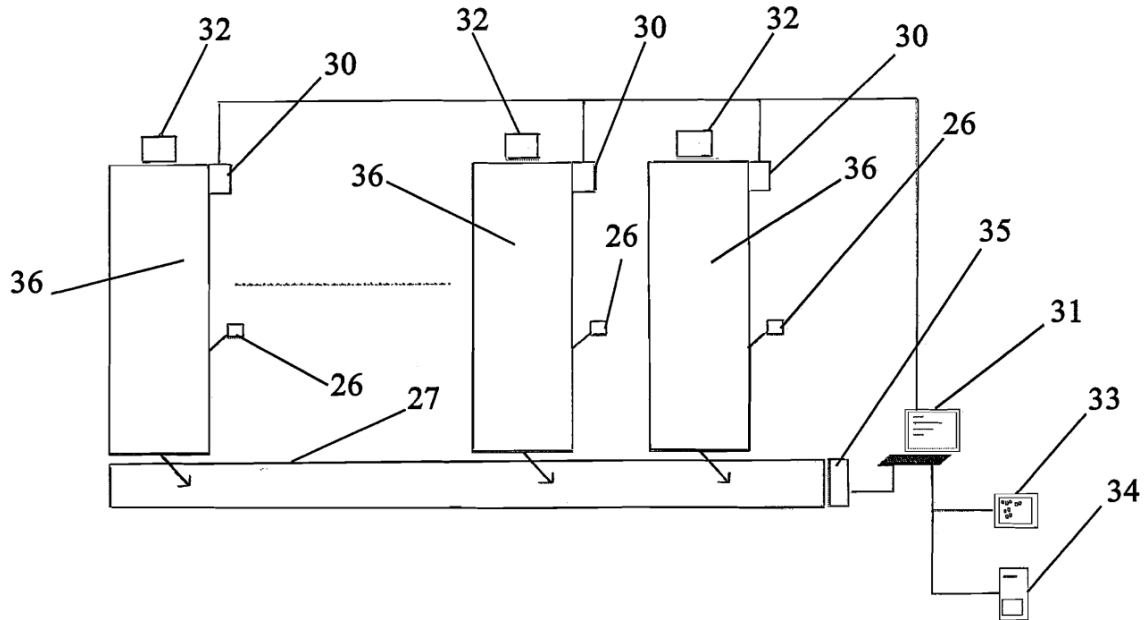


Figura 3.19. Concepto mecánico del proceso de dispensación electromagnético del microservidor.

La Fig. 3.20 muestra un esquema de un proceso de automatización con la Arquitectura de Control Web 2.0 empleando microservidores de dispensación formado por varios armarios (36) provistos de baldas inclinadas en los que se colocan los microservidores. Los productos dispensados desde cada armario (36) con baldas inclinadas (8) caen a una cinta transportadora (27) que los va llevando hasta el punto de recogida de los productos (35).

Las órdenes de dispensación pueden ser realizadas desde el ordenador de la instalación (31) que es manejado por el operario de la instalación o también desde un punto de acceso remoto gobernado mediante el servidor ERP de la empresa (33) que se encarga del envío de los pedidos. Gracias al sistema complementario de

pantalla táctil (33), el sistema muestra a través de un SCADA Web la información publicada por los microservisores para visualizar su estado de funcionamiento y datos estadísticos.



*Figura 3.20. Concepto de instalación con microservisores de dispensación y elementos complementarios.*

Para realizar la reposición de los productos en las ubicaciones concretas de las baldas inclinadas, se dispone de un lector de código de barras (26) situado al lado de cada estructura de estanterías o baldas (8), que es utilizado por los operarios para identificar el producto (10) que se desea reponer. El lector de código de barras (26) envía un dato con el código del producto (10) ya identificado al microservidor de leds (21) situada en cada balda (8) que tras interpretar el dato se encarga de activar los diodos leds traseros (13) que debe ser iluminado en modo parpadeo, mostrando al operario el carril del tipo de producto en el que se debe introducir el producto (10) a reponer.

Una pantalla TFT (32) situada en la zona superior de cada armario (36) sirve para mostrar el estado de funcionamiento de la instalación y también para mostrar información comercial, en aquellas instalaciones en las que los armarios robóticos (36) se coloquen cara al público, como puede ser el caso de las instalaciones en oficinas de farmacia.

La Fig. 3.21 muestra una vista de perfil de una instalación con dos armarios (36) de baldas inclinadas (8) colocados uno enfrente del otro, de forma que todos los productos (10) extraídos con los elementos de dispensación caen a una misma cinta transportadora (27), encargada de llevar los productos (10) al punto de recogida. Se aprecian los buses de comunicación Ethernet (28 y 29) encargados de comunicar las señales de control y alimentaciones entre los microservidores de dispensación y de leds ubicados en los distintos niveles de baldas.

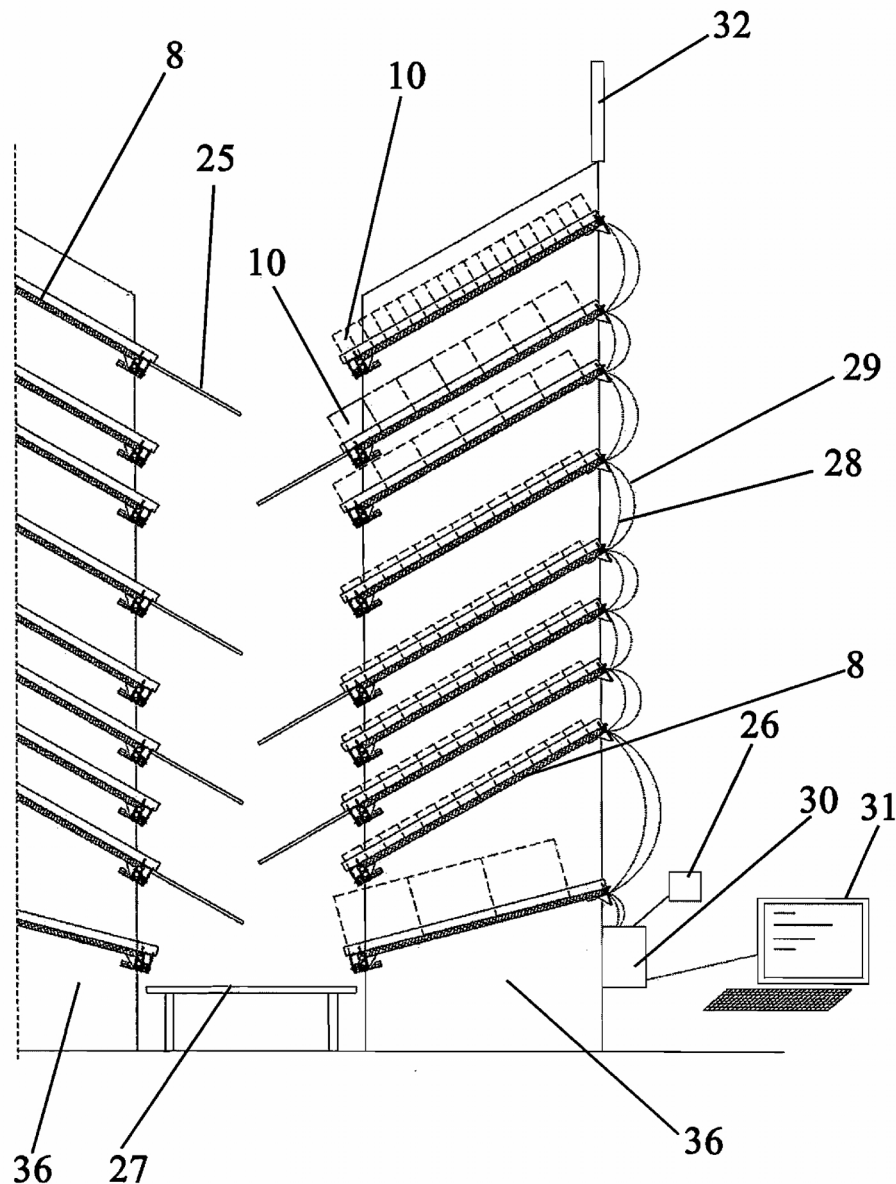


Figura 3.21. Vista de perfil de la instalación con las rampas de frenado.

Las rampas de frenado (25) se utilizan para frenar la caída de los productos desde las ubicaciones más elevadas hasta la cinta transportadora. También cabe señalar que los productos de mayor volumen y peso de la instalación se ubican en las baldas con menor altura y por lo tanto, más próximas a la cinta transportadora (27), y son baldas que pueden requerir una inclinación menor debido al mayor empuje realizado por el peso de los productos (10).

#### ***3.4.2 Reivindicaciones intelectuales microservidor de dispensador***

El diseño del microservidor de dispensación con las características constructivas y funcionales descritas es una innovación a nivel mundial y debido a los posibles usos industriales de estos dispositivos dentro de la Arquitectura de Control Web 2.0, se ha escogido proceder a su patente.

Tras los estudios del estado del arte realizados por los especialistas de las Oficina de Patentes Española y Oficina de Patentes Europea se validó la patentabilidad del sistema, el cual se encuentra actualmente protegido a nivel nacional y mundial a través de dos patentes. La patente nacional tiene código ES2328656B1 y la patente internacional código EP2287814A1. El texto íntegro y original de dichas patentes se encuentran en el Anexo de la tesis.

A continuación se muestran las principales reivindicaciones intelectuales (Trueba, 2009) del sistema en base a la descripción de las características presentada en el anterior Apartado 3.4.1., en las que los números hacen referencia a las partes de los elementos de las figuras 3.15 a 3.21.

#### ***Reivindicación Principal***

1. Instalación para la dispensación automática de productos comerciales, del tipo de productos de los que se presentan en cajas paralelepípedicas, tales como ciertos productos farmacéuticos, electrónicos o alimenticios; caracterizada porque contiene, al menos, una balda inclinada (8), sobre la que se ubican los productos (10) a dispensar, separados en carriles por unas guías (6) ajustables y apoyados uno detrás de otro, al deslizarse por la balda (8); al menos un elemento dispensador individual por cada carril; yendo dotado cada elemento dispensador de una electrónica de control autónoma tipo microservidor (20), un sensor de detección de presencia (2), un dispositivo actuador (1), preferentemente de tipo electromagnético, y un tope (11) para el frenado de los productos (10) en la balda inclinada (8); todo ello de manera que la electrónica de control (20) puede generar la activación del dispositivo actuador (1) electromagnético, que eleva el correspondiente producto (10) a dispensar por encima del tope (11), provocando su salida del carril y el

posicionamiento, por gravedad, de un nuevo producto sobre el dispositivo actuador (1).

***Reivindicaciones Secundarias***

2. Instalación para la dispensación automática de productos comerciales, en todo de acuerdo con la primera reivindicación, caracterizada porque la electrónica de control autónoma (20) de cada microservidor permite procesar simultáneamente la solicitud completa de dispensación de una serie de diferentes productos (10) de un pedido, mediante la orden suministrada por la electrónica de control autónoma (20) de cada uno de los diferentes elementos dispensadores de los distintos productos (10) a dispensar.

3. Instalación para la dispensación automática de productos comerciales, en todo de acuerdo con la primera reivindicación, caracterizada porque tanto el elemento dispensador individual de cada carril, como las guías (6) ajustables van montadas sobre una estructura metálica ranurada (7) de soporte independiente que permite su instalación sobre la correspondiente balda inclinada (8) y el ajuste posicional, de cada elemento dispensador y de cada guía (6) a las particularidades de tamaño y de peso de los productos (10) a dispensar.

4. Instalación para la dispensación automática de productos comerciales, en todo de acuerdo con la anterior reivindicación, caracterizada porque el elemento dispensador individual de cada carril incorpora un indicador luminoso frontal (4), y unos conectores (5) para su interconexión con otros elementos dispensadores; y porque existe, al menos, un indicador luminoso (13) por cada carril de tipo microservidor, ubicado en la zona trasera de la balda (8), relacionado con, al menos, un lector (26) del código de barras que va dispuesto sobre cada producto (10) y con una electrónica de control (21) de dichos indicadores luminosos (4 y 13), de manera que, preferentemente, el indicador luminoso trasero (13), en función de la información proporcionada por el lector (26) de código de barras a la electrónica de control (21), avisa ópticamente de la ubicación del carril en el que se debe reponer dicho producto (10); avisando también de una avería del elemento dispensador o de una falta total de productos (10) en un carril.

5. Instalación para la dispensación automática de productos comerciales, en todo de acuerdo con la primera reivindicación, caracterizada porque incorpora, al menos, un ordenador central (31) y/o un punto de acceso remoto, gobernado, preferentemente, mediante una pantalla táctil (33), con un módulo de pago (34); de manera que el proceso de dispensación automática

puede iniciarse desde el ordenador (31) manejado por el operario u operarios encargados de la instalación, o por clientes de la instalación a la que acceden a través del punto de acceso remoto (33), previo pago del importe requerido a través del módulo (34) .

6. Instalación para la dispensación automática de productos comerciales, en todo de acuerdo con la primera reivindicación, caracterizada porque los microservidores indicadores luminosos traseros (13) van montados sobre una estructura metálica ranurada (14) de soporte independiente que permite su instalación sobre la correspondiente balda inclinada (8) y el ajuste posicional de cada indicador luminoso trasero (13) y de cada guía (6) a las particularidades de tamaño y de peso de los productos (10) a dispensar.

7. Instalación para la dispensación automática de productos comerciales, en todo de acuerdo con la primera reivindicación caracterizada porque los microservidores dispensadores de las diferentes carriles determinados sobre las baldas inclinadas (8) se encuentran intercomunicados entre sí a través de un mismo bus (6) de alimentación y de datos Ethernet.

8. Instalación para la dispensación automática de productos comerciales, en todo de acuerdo con la primera reivindicación, caracterizada porque se ha previsto la selectiva incorporación, en la salida de cada carril, de una rampa (25) para el frenado de los productos (10) cuando así sea requerido.

9. Instalación para la dispensación automática de productos comerciales, en todo de acuerdo con la primera reivindicación, caracterizada porque dispone de, al menos, una cinta transportadora (17), para llevar los productos (10) que salen de los elementos dispensadores hasta un punto de recogida (35).

10. Instalación para la dispensación automática de productos comerciales, en todo de acuerdo con la primera reivindicación, caracterizada porque se ha previsto incorporar, en la zona superior de cada armario (36), formado por un conjunto de baldas inclinadas (8), una pantalla (32) que permite mostrar información sobre el estado de funcionamiento de la instalación y otras informaciones complementarias a modo de programa SCADA con tecnología Web.

Las patentes del microservidor de dispensación se encuentran con las tasas anuales actualizadas y en explotación a través de empresas de ingeniería encargadas de la fabricación e instalación de los microservidores. Una red de empresas de distribución nacional e internacional se encarga de las ventas de los microservidores en los almacenes de distribución farmacéutica del mundo.

### **3.5 Patente del microservidor de reposición**

Dado que un sistema de automatización de carriles aplicado a la industria farmacéutica conlleva el manejo de miles de carriles con tamaños y alturas distintos, la instalación de un sistema de leds convencionales cableado a las salidas de los autómatas para indicar al operario la ubicación en la que debe colocar un producto se antoja inviable, y de hecho no lo encontramos en el estado del arte actual de sistemas de automatización de este tipo de máquinas.

Existen tiras o barras de diodos led que resultan apropiadas para iluminar cada posible ubicación de un producto en una de las baldas de una estantería de un almacén. Sin embargo, el empleo estas tiras de leds convencionales distribuidos en todas las estanterías y baldas de un almacén necesitaría un control electrónico con capacidad para un número muy elevado de señales independientes y requeriría también de un número muy elevado de cables de conexión, que deben ser distribuidos por las baldas de almacenaje, de modo que la complejidad y el coste de la instalación, hacen casi inaplicable el sistema en la práctica.

Gracias al empleo de un microservidor específico equipado con leds y con una electrónica de control y comunicación Ethernet, denominado microservidor de reposición, es posible realizar este tipo de instalación de elementos indicadores sin prácticamente cableado y con una gran versatilidad, pudiendo iluminar dinámicamente los leds necesarios para que el operario conozca en qué carril debe introducir un producto o qué carril se ha podido quedar vacío durante el proceso de preparación de pedidos, todo de una forma visual y cómoda para el usuario.

De acuerdo con la descripción previa de la problemática, se propone una instalación que cumple con los requisitos de la solución tecnológica indicada, mediante un sistema de indicación constituido por diodos leds capaces de señalar la ruta que deben seguir los operarios por el almacén de aplicación hasta llegar a la ubicación exacta de los artículos o carriles que se buscan, sin tener que realizar cableados de conexión de los diodos leds utilizados y con un control particular de dichos leds que no limita el número de los mismos.

Este sistema se basa en el desarrollo de un microservidor específico para su empleo en la Arquitectura de Control Web 2.0, fabricado en base a unas tiras modulares de circuito impreso que disponen de uno o varios diodos leds, una electrónica autónoma de control y comunicaciones Ethernet, y unos conectores que permiten la interconexión de sucesivas tiras modulares para determinar un recorrido por las baldas y estanterías del almacén de aplicación, sin necesidad de cableados de conexión.

La electrónica autónoma de control de cada microservidor es de una identificación única, de forma que es capaz de interpretar las órdenes de reposición

que son solicitadas por uno o varios operarios desde un computador de mesa o un ordenador de mano tipo PDA, para indicar de un modo inteligente los procesos de ruteado y localización hasta la ubicación de los artículos que se deseen.

Las tiras modulares que se emplean para la construcción física de estos microservidores disponen de los diodos led colocados en la parte frontal, quedando un espacio libre para la colocación de etiquetas, códigos de barras u otros signos identificativos que quieran añadirse al sistema de iluminación de los diodos leds, yendo la electrónica de control y comunicaciones, así como los conectores de interconexión de las tiras, en la parte posterior de la tira modular, de manera que el usuario de la instalación solo visualiza los diodos leds y las etiquetas o signos identificativos opcionales, quedando oculta la electrónica y los conectores de las microservidores con forma de tiras modulares.

Las tiras modulares se hallan provistas con unos orificios para su fijación en los lugares de aplicación, pudiendo realizarse dicha fijación mediante adhesivo, grapas, remaches, tornillos, o cualquier otro sistema convencional de sujeción. En la instalación de aplicación, sobre las tiras modulares conectadas entre sí se puede colocar una cubierta transparente, determinando así una protección para evitar las acciones vandálicas y daños en el sistema electrónico por la caída de líquidos o acumulación de polvo.

El tipo de señal de los diodos leds que van incorporados en los microservidores, puede ser personalizada por cada operario usuario de la instalación, de forma que cada usuario puede disponer de un sistema de guiado y localización particular diferente del de los demás usuarios, de modo que la instalación puede ser utilizada por varios usuarios a la vez, sin que la activación de la instalación por los diversos usuarios induzca a error de la ruta que cada uno de ellos debe seguir. En este sentido, la señal de los diodos leds incorporados en los microservidores, puede ser selectivamente multicolor, o de diversas formas funcionales, como por ejemplo en encendido continuo, en encendido parpadeante, en encendido secuencial sucesivo de los distintos diodos leds o grupos de diodos leds, etc.

Con la instalación preconizada, un operario puede seleccionar, mediante el empleo de un computador o un ordenador de mano tipo PDA, el objeto que desea extraer o introducir en el almacén, empleando para ello un código específico del objeto, indicando a la vez la situación en la que se encuentra el operario si el aparato de control que utiliza es un ordenador de mano.

Con ello, tras validarse la acción, los leds de la instalación se iluminan por los pasillos del almacén, con el tipo de iluminación que haya seleccionado ese operario, resultando así indicada la ruta que debe seguir el operario hasta el lugar de ubicación del carril o producto deseado. La situación del usuario que emite la orden

de selección de un producto a localizar en el almacén de aplicación, puede realizarse también de forma automática, mediante una gestión de autolocalización del aparato utilizado por el usuario para emitir la orden a la instalación.

Tras finalizar la acción de reposición del producto, el operario puede confirmar la operación con el mismo aparato de control, actualizándose con ello, en tiempo real, la base de datos de gestión de stocks y albaranes del almacén. Las ubicaciones de los objetos en las baldas del almacén pueden ser configuradas en relación con los objetos, asignando en cada lugar un conjunto adecuado de leds en función de las dimensiones de los objetos a almacenar.

### 3.5.1 Descripción detallada del microservidor de reposición

El diseño de los sistemas basados en microservidor para reposición permite la instalación de miles de led en los carriles de los microservidores dispensadores por la unión consecutiva de microservidores (1) que se interconectan entre sí a lo largo de la distribución de estanterías (2) de almacenaje y de las baldas componentes de las mismas donde se determinan las ubicaciones de almacenamiento de los objetos, como se puede apreciar en la Fig. 3.22.

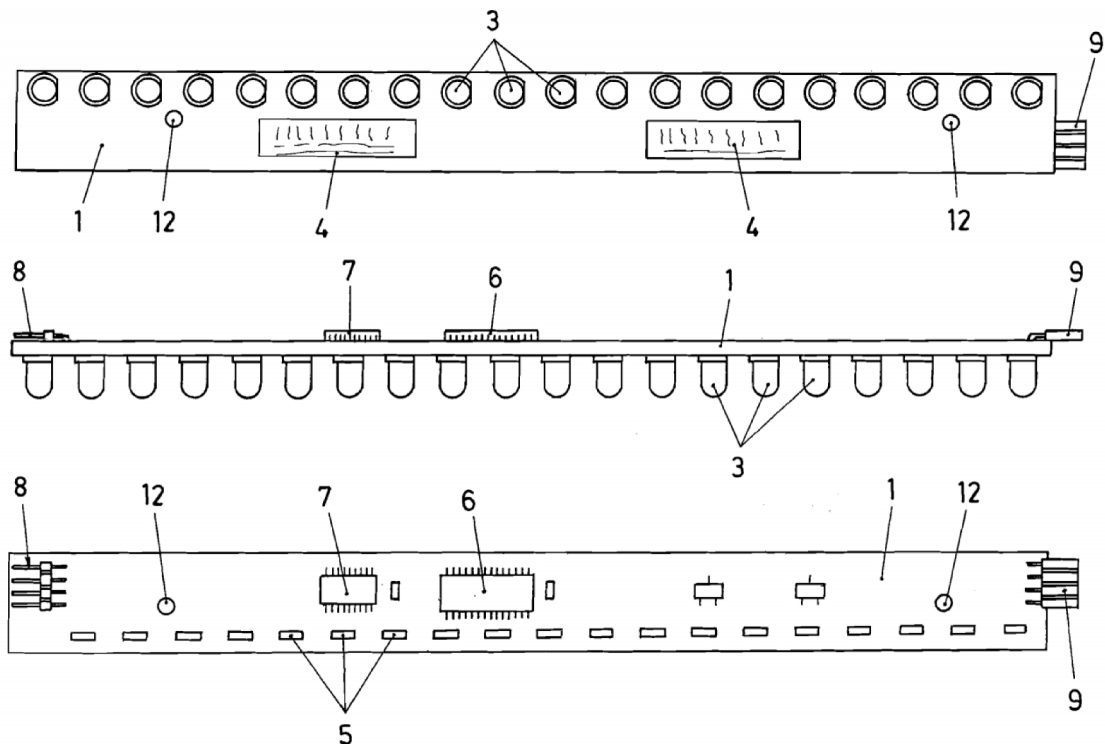


Figura 3.22. Vista frontal, vista en planta y vista posterior de un microservidor con formato de tira de leds modular.

Cada microservidor (1) comprende en la parte frontal una serie de diodos luminosos (3) de tipo led dispuestos de manera sucesiva en una o más filas, los cuales pueden ser encendidos de forma independiente o en conjuntos, siguiendo posibles combinaciones distintas de actividad o de colores.

En esa parte frontal del microservidor (1) queda además un espacio libre, en donde es susceptible la colocación de etiquetas accesorias (4), las cuales pueden contener informaciones referentes al nombre, descripción, código de barras, etc., de los objetos para los que está destinado el almacén, de modo que en dichas etiquetas accesorias (4) los operarios del almacén pueden comprobar visualmente la correspondencia de la ubicación a la que conduce el guiado luminoso de la instalación y el objeto que se halla en dicha ubicación. Dichas etiquetas accesorias (4) pueden contener también información referida a las baldas y estanterías (2), lo cual es muy adecuado para las instalaciones en las que las ubicaciones de los objetos que se almacenan cambian periódicamente al activar el modo de gestión de los diodos led (3) para la asignación de las ubicaciones de almacén de los objetos en función del tamaño de éstos y de los espacios disponibles en las baldas de las estanterías (2).

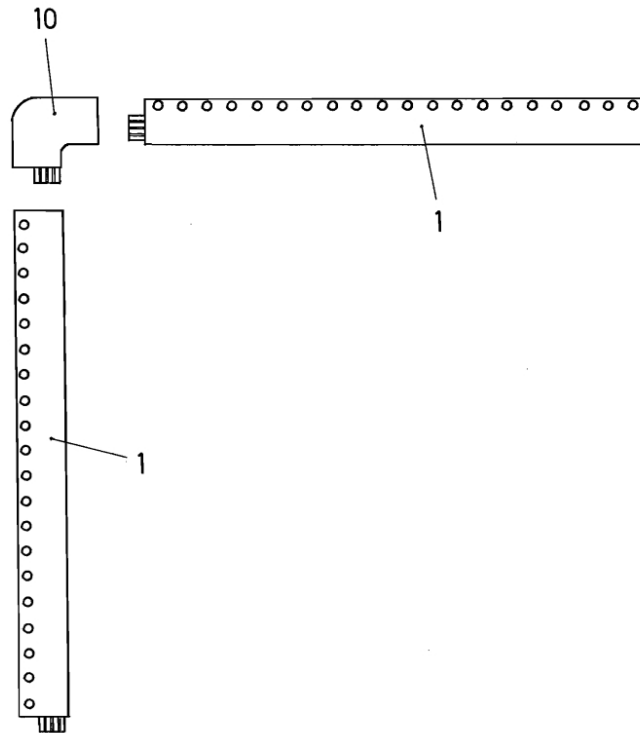
En la parte posterior no visible para el usuario, los microservidores (1) poseen un circuito impreso, en el cual van colocados los componentes electrónicos (5) de control y comunicación Ethernet, incluyendo dicho conjunto electrónico un microcontrolador (6) capaz de gestionar todo el control de las comunicaciones y el encendido autónomo de los diodos led (3).

El microcontrolador (6) dispone de un identificador único en cada microservidor (1), de manera que cada orden de encendido que es transmitida desde el ordenador o PDA de un usuario, hacia el conjunto de una instalación, solo es procesada por aquellos microservidores (1) en las que su identificador corresponda al que debe realizar la operación de la orden dada.

El conjunto electrónico de cada microservidor (1) incluye además un circuito integrado (7), formado por un chip que realiza la gestión de la comunicación Ethernet, adaptando los niveles físicos del bus de datos a señales digitales que puedan ser procesadas de forma adecuada por el microcontrolador (6) y que puedan ser transmitidas adecuadamente a otras tiras modulares (1).

Para la conexión sucesiva de los microservidores (1) en la formación de las instalaciones de aplicación, cada tira modular (1) dispone de un conector macho (8) en un extremo y de un conector hembra (9) en el otro extremo. Dichos conectores (8 y 9) se prevén de varios pines, de los que dos son para la alimentación y los otros para el establecimiento de la red Ethernet entre los microservidores (1) interconectados.

El resto de los componentes (5) del conjunto electrónico de los microservidores (1), son elementos encargados de acondicionar las señales de control generadas por el microcontrolador (6) hacia los diodos led (3), a niveles de tensión y corriente adecuados para el encendido de los mismos. Algunos de los componentes (5) son resistencias de montaje superficial, empleadas para limitar la tensión hacia los diodos led (3), otro de los componentes (5) es un transistor de montaje superficial utilizado para el aumento de corriente en un diodo led (3), y otro de los componentes (5) es un condensador para la estabilización de la tensión de alimentación del microservidor (1) correspondiente.



*Figura 3.23. Ejemplo de interconexión angular de los microservidores de la instalación, mediante un conector accesorio.*

Los conectores (8 y 9) van incorporados en los extremos de los microservidores (1) con la orientación precisa para la conexión de los sucesivos microservidores (1) según los recorridos de las instalaciones de aplicación. En este sentido, los conectores (8 y 9) de cada microservidor (1), pueden estar dispuestos en orientación recta respecto de los extremos de la tira modular (1), o en orientación inclinada, pudiendo incluso ser giratorios para orientarse selectivamente según convenga. También se prevé la posibilidad de conexión de las sucesivas tiras modulares (1) mediante conectores (10) accesorios angulares, como se observa en la Fig. 3.23.

En las instalaciones de aplicación los microservidores de reposición (1) pueden ir dentro de una cubierta transparente (11), como se aprecia en la Fig. 3.24, de forma que el conjunto quede protegido frente a acciones vandálicas, el vertido de líquidos o acumulación de polvo, pudiendo ser dicha cubierta transparente (11) un tubo de plástico o una masa de material transparente inyectada sobre las tiras modulares (1).

La fijación de las tiras modulares (1) en los lugares de aplicación puede ser por pegado, o bien mediante tornillos, grapas, remaches o cualquier otro sistema convencional de sujeción, estando provista para ello cada tira modular (1) con unos orificios (12).

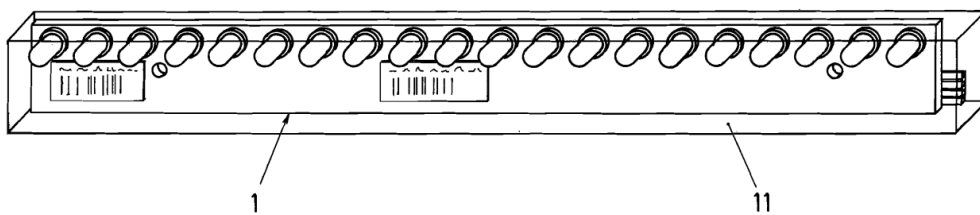


Figura 3.24. Perspectiva de una tira modular dentro de una cubierta transparente de protección.

La Fig. 3.25 muestra el diagrama en bloques de un microservidor (1) de reposición constando de un bloque (I) correspondiente a la cara frontal del microservidor (1) con los diodos leds (3) y las etiquetas (4) accesorias, un bloque (II) referente a la cara posterior de la tira modular (1) con el circuito impreso de conexión del conjunto electrónico, un bloque (III) correspondiente al conjunto de los componentes (5) del conjunto electrónico, un bloque (IV) correspondiente al microcontrolador (6), un bloque (V) correspondiente a tarjeta de circuito impreso (7), y un bloque (VI) correspondiente a los conectores (8 y 9), todo lo cual puede ir integrado dentro de un bloque (VII) correspondiente a un cubrimiento protector (11).

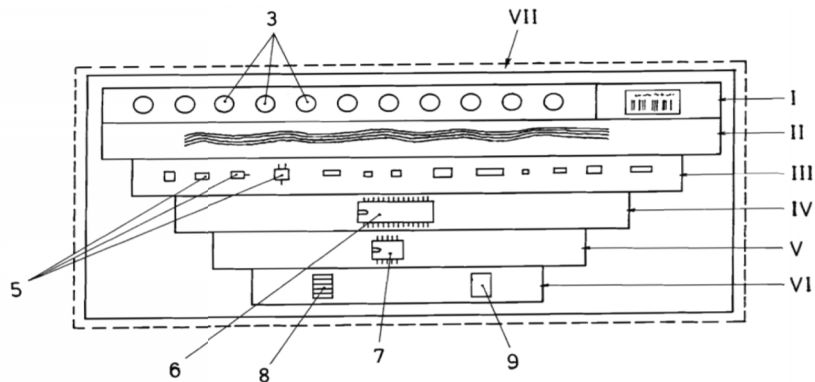


Figura 3.25. Diagrama en bloques del conjunto funcional del microservidor de reposición.

La Fig. 3.26 muestra un ejemplo de instalación del sistema propuesto en una estantería (2) con microservidores dispensadores formada por varios niveles de baldas destinadas para la ubicación de distintos tipos de artículos en carriles, de forma que los microservidores de reposición (1) van dispuestos sobre dichas baldas de la estantería (2), quedando a la vista solo la cara frontal de los microservidores (1) en donde van los diodos led (3) y las etiquetas accesorias (4) de las mismas.

En dicha aplicación, en relación con el conjunto de los microservidores de reposición (1) incorporados sobre la estantería (2) se dispone una unidad concentradora (14), que dispone de la fuente de alimentación para proporcionar la tensión y corriente de funcionamiento al conjunto de las tiras modulares (1) y para distribuir las señales de datos procedentes del ordenador o PDA de los usuarios.

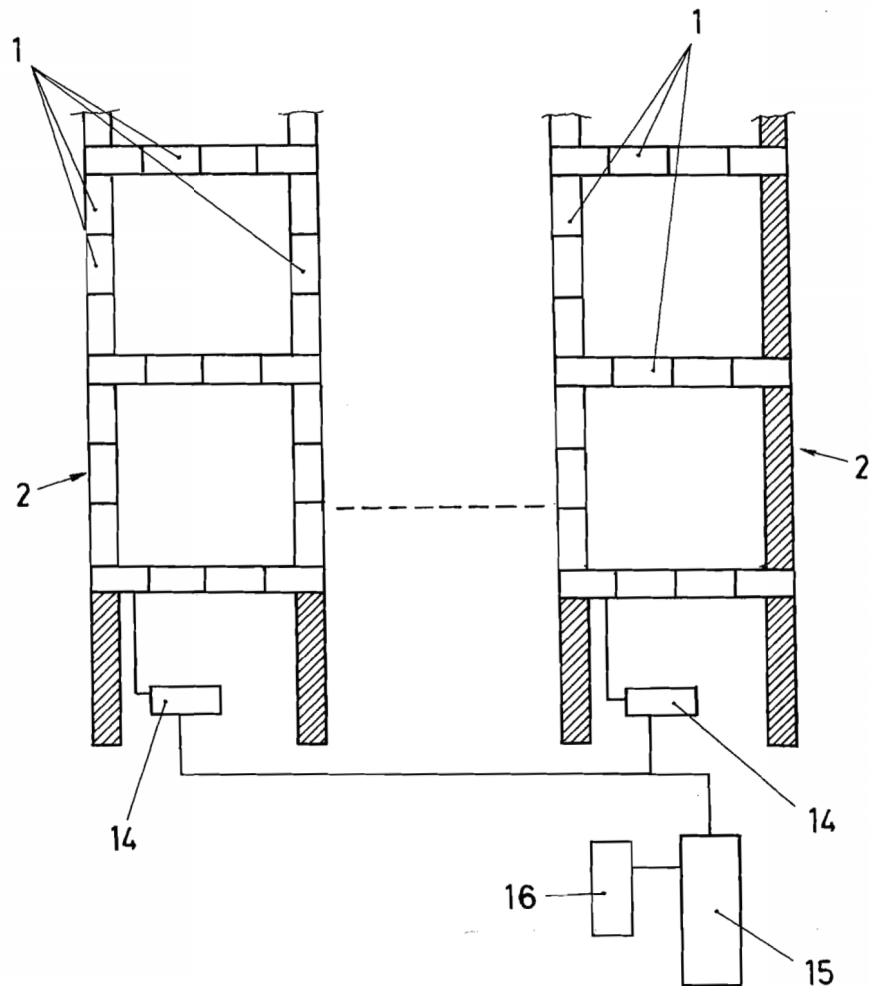


Figura 3.26. Esquema de la aplicación de la instalación de microservidores de reposición en el conjunto de una distribución de estanterías de un almacén.

En la Fig. 3.26 se muestra un almacén que puede estar formado por múltiples estanterías (2) de almacenamiento, donde se puede observar como la instalación aplicada en cada estantería (2) posee una unidad concentradora (14) particular, yendo las unidades concentradoras (14) de todas las estanterías (2) interconectadas con un aparato de control (15) (ordenador o PDA) que utiliza el usuario, de forma que desde dicho aparato de control (15) el usuario puede emitir órdenes de reposición en el almacén, activando el sistema de guiado, localización y gestión a través de los microservisores (1) componentes de la instalación. Además del aparato de control (15), el usuario puede utilizar un periférico (16) de lectura automática del código identificativo del que pueden disponer los artículos.

#### **3.5.2 Reivindicaciones intelectuales del microservisores de reposición**

El diseño del microservisores de reposición con las características constructivas y funcionales descritas es una innovación a nivel mundial y debido a los posibles usos industriales de estos dispositivos dentro de la Arquitectura de Control Web 2.0, se ha escogido proceder a su patente.

Tras los estudios del estado del arte realizados por los especialistas de la Oficina de Patentes Española se validó la patentabilidad del sistema, el cual se encuentra actualmente protegido a nivel nacional través de una patente (Trueba, 2011), con código ES-2349612. Dicha patente se encuentra en el Anexo de la tesis. A continuación se muestran las principales reivindicaciones intelectuales del sistema en base a la descripción de las características presentada en el anterior Apartado 3.5.1. en las que los números referenciados en el texto se refieren a las partes descritas en las Fig. 3.22 a 3.26.

##### ***Reivindicación Principal***

1.- Instalación para el guiado, localización y gestión de artículos en un almacén, del tipo destinado para señalar de manera luminosa las ubicaciones de los artículos a reponer en un almacén de dispensación automática y los recorridos a seguir hasta dichas ubicaciones, caracterizada porque se forma por microservisores con forma de tiras modulares (1) interconectables, cada uno de las cuales consta de un circuito impreso respecto del que van conectados diodos led (3) dispuestos en fila y un conjunto electrónico que comprende un microcontrolador (6) provisto con un identificador particular de cada tira modular, con un conector macho (8) en un extremo y un conector hembra (9) en el otro extremo, a través de los cuales son susceptibles de interconectarse las tiras modulares (1) directamente entre sí,

permitiendo recibir en el microcontrolador (6) órdenes procedentes de uno o más aparatos de usuario para la señalización y gestión de los lugares de ubicación de los artículos en la distribución de un almacén, así como el guiado hasta los mismos, mediante la activación de los diodos led (3) que correspondan de las tiras modulares (1) interconectadas.

#### ***Reivindicaciones Secundarias***

2.- Instalación para el guiado, localización y gestión de artículos en un almacén, de acuerdo con la primera reivindicación, caracterizada porque las tiras modulares (1) determinan en la cara frontal, en donde van dispuestos los diodos led (3), unos espacios libres en los que se disponen etiquetas accesorias (4) contenedoras de datos referentes a los artículos del almacenamiento de aplicación e informaciones relativas a los lugares de ubicación de los mismos.

3.- Instalación para el guiado, localización y gestión de artículos en un almacén, de acuerdo con la primera reivindicación, caracterizada porque los microservidores (1) incorporan en la parte posterior, de manera no visible para el usuario, el microcontrolador (6), un circuito integrado (7) formado por un chip de comunicación Ethernet, los conectores (8 y 9) y otros componentes (5) del conjunto electrónico.

4.- Instalación para el guiado, localización y gestión de artículos en un almacén, de acuerdo con la primera reivindicación, caracterizada porque los microservidores (1) que forman la instalación de aplicación se disponen incluidas dentro de una cubierta transparente (11) de protección.

5.- Instalación para el guiado, localización y gestión de artículos en un almacén, de acuerdo con la primera reivindicación, caracterizada porque en relación con los microservidores (1) que se establecen interconectados en cada estantería (2) de la distribución de un almacén se dispone una unidad concentradora (14) que dispone de la fuente de alimentación para proporcionar la tensión y corriente de funcionamiento a los microservidores (1) y para conformar las señales de datos de los aparatos de usuario desde los que se transmiten las órdenes a la instalación.

6.- Instalación para el guiado, localización y gestión de artículos en un almacén, de acuerdo con la primera reivindicación, caracterizada porque los diodos led (3) de las tarjetas modulares (1) interconectadas son susceptibles de activación selectivamente en combinación de colores o en forma del encendido de iluminación, para el uso de la instalación por distintos usuarios diferenciando las rutas de guiado que los mismos solicitan.

7.- Instalación para el guiado, localización y gestión de artículos en un almacén, de acuerdo con la primera reivindicación, caracterizada porque los conectores (8 y 9) de las tiras modulares de los microservidores (1) son susceptibles de orientación, para la interconexión de las tiras modulares (1) sucesivas en cualquier dirección.

8.- Instalación para el guiado, localización y gestión de artículos en un almacén, de acuerdo con la primera reivindicación, caracterizada porque la interconexión entre las tiras modulares (1) sucesivas puede establecerse a través de conectores accesorios angulares (10), para determinar recorridos de la instalación en cualquier dirección.

9.- Instalación para el guiado, localización y gestión de artículos en un almacén, de acuerdo con la primera reivindicación, caracterizada porque los microservidores (1) disponen de orificios (12) para la fijación sobre baldas o estanterías mediante tornillos, grapas, remaches o cualquier otro sistema convencional de sujeción.

La patente se encuentra con las tasas anuales abonadas y en explotación por parte de las empresas de ingeniería que han adquirido las licencias para su comercialización.

#### **3.6 Patente del sistema de reposicionamiento automático basado en microservidores**

El sistema de reposición mediante microservidores con leds es un paso importante para la ayuda al proceso de reposición de los carriles de los dispensadores, pero sigue necesitando igualmente la intervención manual de los operarios para realizar dicha labor. Dada la complejidad del proceso de reposición y la creciente problemática al aumentar el número de carriles automáticos en las instalaciones, se ha concebido el desarrollo de un sistema de reposicionamiento totalmente automático en el que no sea necesaria la intervención humana para la introducción de los medicamentos en los carriles. El procedimiento de reposicionamiento automático además de garantizar la no existencia de errores durante el proceso de carga de medicamentos, aporta otras ventajas como una total trazabilidad de los productos que son repuestos en cada carril.

Se ha concebido un sistema electrónico y mecánico que posibilita el sistema de reposicionamiento automático y en la que los dispositivos de control son microservidores. Este sistema se encuentra totalmente integrado en la Arquitectura de Control Web 2.0 y se ha obtenido una patente industrial tanto a nivel de la instalación como del procedimiento ideado, lo que certifica su grado de innovación.

### **3.6. Patente del sistema de reposicionamiento automático basado en microservidores**

La instalación para el reposicionamiento automático se encarga de reponer las máquinas dispensadoras, manteniendo abastecido al sistema constantemente y evitando, de esta forma, que haya paradas indeseadas en el servicio. La instalación es configurable para cumplir con las necesidades del sistema a abastecer, y se caracteriza por un funcionamiento robusto y fiable, así como por tener un mantenimiento económico y sencillo que no requiere de personal cualificado para su realización. De esta manera se eliminan los cuellos de botella en la dispensación del producto, y se garantiza la disponibilidad de producto, facilitando al cliente final un servicio más satisfactorio.

La instalación para el reposicionamiento automático de medicamentos se basa en unos acumuladores cíclicos encargados de identificar y trasladar los productos hasta su zona de almacenaje, y de unos elementos manipuladores encargados de posicionar, medir, e insertar los productos en su correspondiente ubicación en la máquina dispensadora.

Con esta instalación un número "m" de productos transitan simultáneamente hacia un número "n" de máquinas dispensadoras a reponer, a diferencia de las soluciones del estado de la técnica, en las que el elemento manipulador va a buscar el producto o productos a reponer. Mediante el procedimiento de la instalación, una diversidad de productos distintos se transportan simultáneamente hasta un conjunto de máquinas dispensadoras que están a la espera de su recepción. La instalación para el reposicionamiento automático de productos comerciales está constituida por al menos un acumulador cíclico principal que abastece simultáneamente de productos a "n" acumuladores cíclicos locales, los cuales a su vez abastecen a "n" máquinas dispensadoras por medio de "n" elementos manipuladores, siendo "n" un número natural, y en donde los acumuladores cíclicos están provistos de una pluralidad de carros que se mueven según un recorrido continuo, portando cada uno de los carros un único tipo de producto.

Se ha previsto, que los acumuladores cíclicos presenten una configuración en cascada, disponiéndose los acumuladores cíclicos locales abastecedores de las máquinas dispensadoras en una altura inferior a la de los acumuladores cíclicos principales, con lo que se consigue reducir el espacio en planta empleado, no obstante también pudieran disponerse a la misma altura, sin alterarse el concepto de la invención. Así mismo, se ha considerado que cuando el volumen de productos en la instalación así lo requiera, se pueda disponer, entre el acumulador cíclico principal y los acumuladores cíclicos locales, al menos un acumulador cíclico secundario, de igual configuración que los anteriores, de manera que una solución preferente de la instalación será al menos un acumulador cíclico principal, que abastece de productos a varios acumuladores cíclicos secundarios, los cuales a su

vez abastecen a “n” acumuladores cíclicos locales que transfieren los productos a “n” máquinas dispensadoras por medio de “n” elementos manipuladores.

Los acumuladores cíclicos comprenden unas ruedas dentadas, separadas una distancia variable, y accionadas por un motor, que arrastran a los carros por medio de una cadena de transmisión o elemento similar. Los carros están constituidos por una base que dispone de unos mecanismos de guiado para el desplazamiento a lo largo del acumulador cíclico, una plataforma basculante portadora de un único tipo de producto y que es elevable mediante un mecanismo de basculación para la transferencia del producto, o productos, a otro acumulador cíclico o a un elemento manipulador. Los carros están debidamente referenciados dentro de la instalación mediante unos medios de identificación como RFID o código de barras.

Los acumuladores cíclicos disponen cada uno de al menos una zona de descarga de productos en relación con al menos una zona de recepción de productos, estas zonas de descarga y recepción pueden ser simples, de manera que el trasvase de productos se hace mediante el volcado de un único carro, o múltiples, de manera que el trasvase de productos se realiza mediante el volcado simultaneo de varios carros.

El elemento manipulador se encarga de recibir los productos provenientes del acumulador cíclico local correspondiente y posicionarlos en su ubicación final en la máquina dispensadora. Para ello, el elemento manipulador consta de una cinta transportadora accionada por un motor para recibir el producto; unos sensores de detección que controlan la posición del producto; un mecanismo palpador accionado por un sistema de correa de transmisión y motor eléctrico provisto con un encóder para el ajuste y medición del producto; dos actuadores lineales, que junto con la cinta transportadora y el palpador permiten la rotación y el volcado del producto; y un sensor de medición de distancia que detecta si hay espacio libre en la máquina dispensadora antes de la descarga del producto. El elemento manipulador se dispone sobre dos unidades de desplazamiento lineales, una vertical y otra horizontal, las cuales le permiten al manipulador moverse a lo ancho y a lo alto de toda la máquina dispensadora.

Con todo ello así, el procedimiento de reposición consiste en introducir uno o más productos de un mismo tipo en cada carro del acumulador cíclico principal, de manera que los productos son conducidos hasta una zona de descarga, en donde son trasvasados a otro carro de un acumulador cíclico local y conducidos a otra zona de descarga, en donde cada producto es trasvasado a un elemento manipulador que lo recibe y lo posiciona correctamente para introducirlo en su correspondiente ubicación en una máquina dispensadora. De esta manera se consigue que los productos se conduzcan hacia la máquina dispensadora que se debe reponer, y que múltiples de estos productos puedan estar circulando a la vez

### 3.6. Patente del sistema de reposicionamiento automático basado en microservidores

por los acumuladores cíclicos de la instalación mientras varias máquinas dispensadoras están siendo repuestas simultáneamente. En el siguiente acceso puede verse un video de reposicionamiento automático con los elementos descritos: <https://youtu.be/akrLuI8gHgo>



Figura 3.27. Código QR para acceso al link que muestra en un video de preparación de pedidos con el algoritmo de la Arquitectura de Control Web 2.0.

#### **3.6.1 Descripción detallada de la instalación de reposicionamiento automático**

La instalación objeto de la invención para el reposicionamiento automático de productos (1) comerciales presentados en formato de caja paralelepípedica, está constituida por al menos un acumulador cíclico principal (2) que abastece simultáneamente de productos (1) a “n” acumuladores cíclicos locales (3), los cuales a su vez abastecen a “n” máquinas dispensadoras (4) por medio de “n” elementos manipuladores (5), estando relacionada cada máquina dispensadora (4) con un único acumulador cíclico local (3) por medio de un único elemento manipulador (5). Los acumuladores cíclicos (2, 3) están provistos de una pluralidad de carros (6) que se mueven según un recorrido continuo, portando cada uno de los carros (6) un único tipo de producto (1).

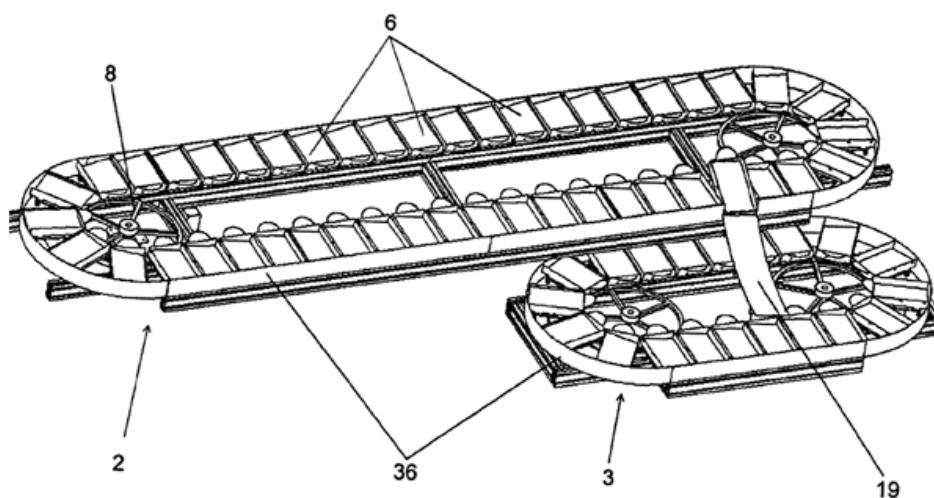


Figura 3.28. Vista en perspectiva del sistema de acumulación y transporte de medicamentos de la instalación e reposición automática.

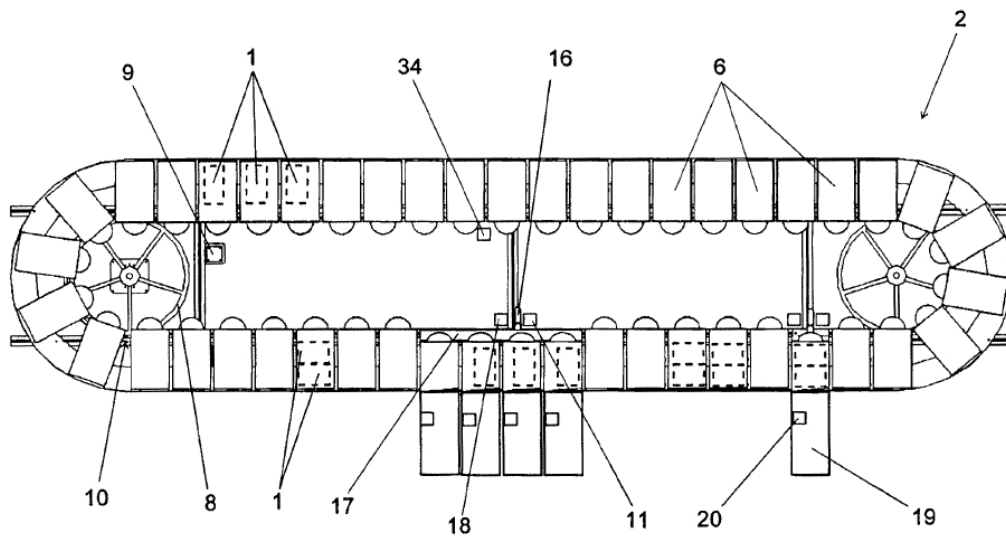


Figura 3.29. Vista en planta de un acumulador cíclico de la instalación para el reposicionamiento automático de productos comerciales.

Los acumuladores cíclicos (2, 3), encargados de encaminar los productos (1) hacia sus elementos manipuladores (5) correspondientes, pueden colocarse uno encima de otro para aprovechar al máximo el espacio del almacén, pudiéndose disponer, entre el acumulador cíclico principal (2) y los acumuladores cíclicos locales (3), al menos un acumulador cíclico secundario (7) cuando el volumen de productos en la instalación lo precise, como se muestra en la realización preferente de la Fig. 3.30.

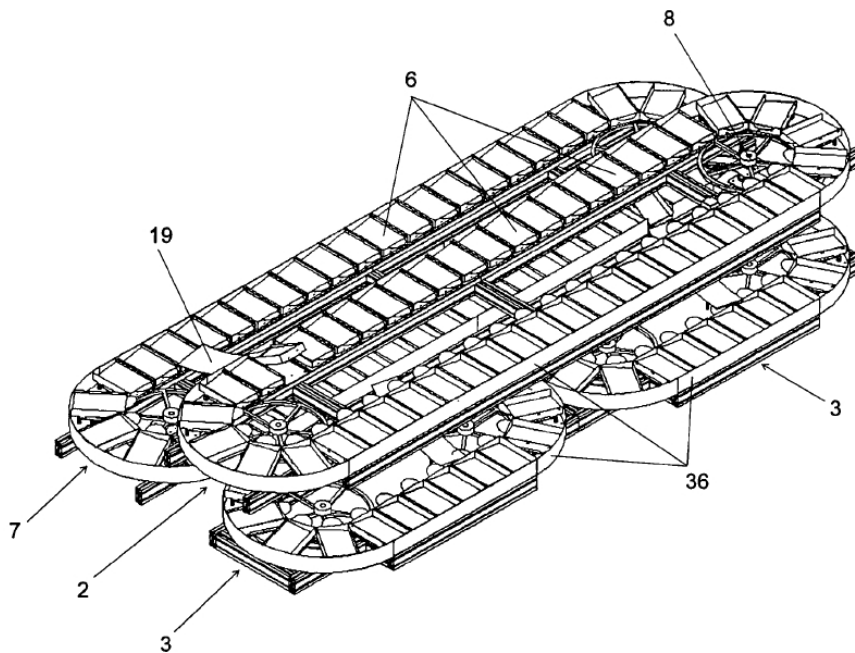
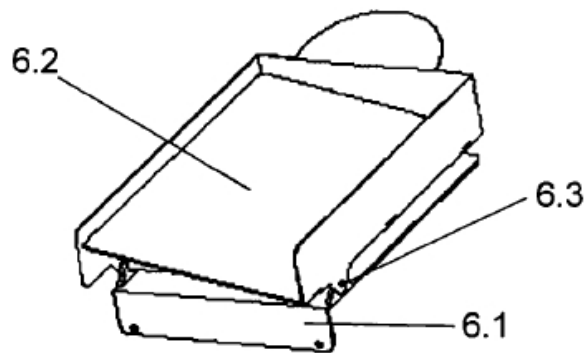


Figura 3.30. Vista en perspectiva de una realización preferente de la instalación, con tres niveles de acumuladores cíclicos.

### 3.6. Patente del sistema de reposicionamiento automático basado en microservidores

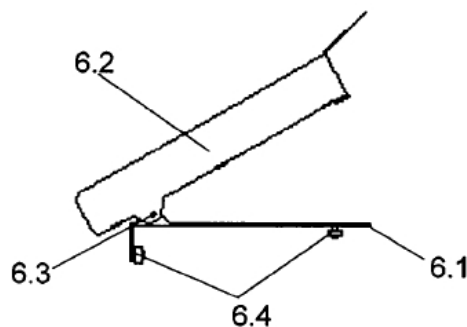
La instalación permite, cuando así sea necesario, la disposición de varios acumuladores cíclicos (7 y 2), disponiéndose unos encima de los otros. También pueden redimensionarse los acumuladores cíclicos (2, 3, 7) en longitud y anchura, de modo que se varié el número de carros que portan, y por tanto el número de productos (1) que se encuentran en circulación dentro de la instalación.

Los acumuladores cíclicos (2, 3, 7) están compuestos por unas ruedas dentadas (8) separadas por una distancia variable y accionadas por un motor (9) que por medio de una cadena de transmisión (10) mueve los carros (6), cada uno de los cuáles puede ser cargado con uno o más productos (1) de un mismo tipo.



*Figura 3.31. Vista en perspectiva de uno de los carros portadores de productos que disponen los acumuladores cíclicos.*

Los carros (6) portadores de productos (1), según la realización mostrada en la Fig. 3.31, constan de una base (6.1) que está unida a la cadena de transmisión (10) del acumulador cíclico y una plataforma basculante (6.2) en la que se ubican los productos (1). Dicha plataforma basculante (6.2) dispone preferentemente de dos ángulos de inclinación para contener los productos (1) introducidos en una posición estable y conocida.



*Figura 3.32. Vista en perfil del carro en posición elevada para el trasvase del producto, o productos que transporte.*

La plataforma basculante (6.2) del carro (6) puede elevarse, como se muestra en la Fig. 3.32, con el fin de evacuar el producto o productos (1) contenidos en ella. Para ello, el carro (6) dispone de una articulación (6.3) que permite su elevación para la transferencia de los productos (1) hacia otros carros (6) o hacia el elemento manipulador (5).

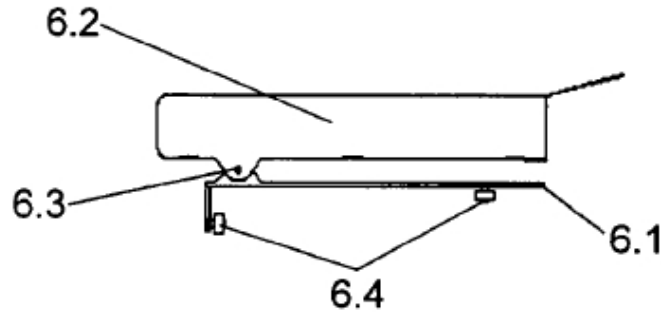


Figura 3.33. Vista en perfil de un carro portador de los productos.

La Fig. 3.33 muestra una vista lateral del carro (6) en el que se aprecian los mecanismos de guiado (6.4), preferentemente ruedas, para mantener estable la posición de la base (6.1) del carro (6) durante su movimiento en el acumulador cíclico (2, 3, 7) correspondiente. Todos los carros (6) de un acumulador cíclico disponen de una identificación única utilizando sistemas estándares como RFID o código de barras. Los acumuladores cíclicos disponen de respectivos lectores de identificación (11) para detectar e identificar cada carro (6).

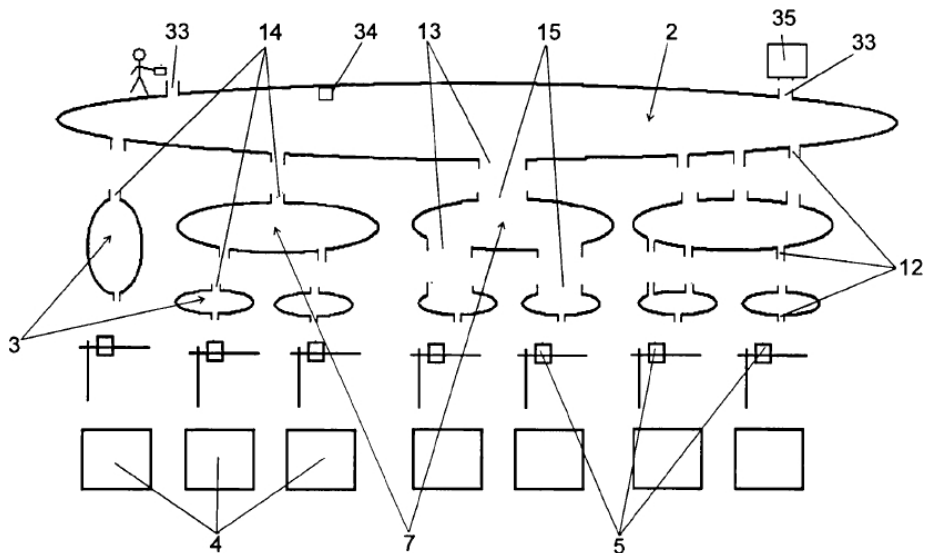


Figura 3.34. Vista esquemática con diferentes posibles configuraciones para los acumuladores cíclicos de la instalación.

### **3.6. Patente del sistema de reposicionamiento automático basado en microservidores**

Existen diversas configuraciones posibles para los acumuladores cíclicos (2, 3, 7), como se muestra en la Fig. 3.34, en función de las necesidades y el volumen de mercancía con el que trabaje el almacén. Una solución preferente consiste en instalar un acumulador cíclico (2) que actúe como acumulador cíclico principal, varios acumuladores cíclicos (7) que actúen como acumuladores cíclicos secundarios y tantos acumuladores cíclicos locales (3) como máquinas dispensadoras (4) a reponer existan. Una vez los productos (1) se encuentran en el acumulador cíclico principal (2), comienzan a circular hasta llegar a la zona de descarga (12, 13) que les corresponda, situada sobre la zona de recepción (14, 15) del acumulador cíclico secundario (7) correspondiente, en función de la ubicación final donde los productos (1) tengan que ser almacenados.

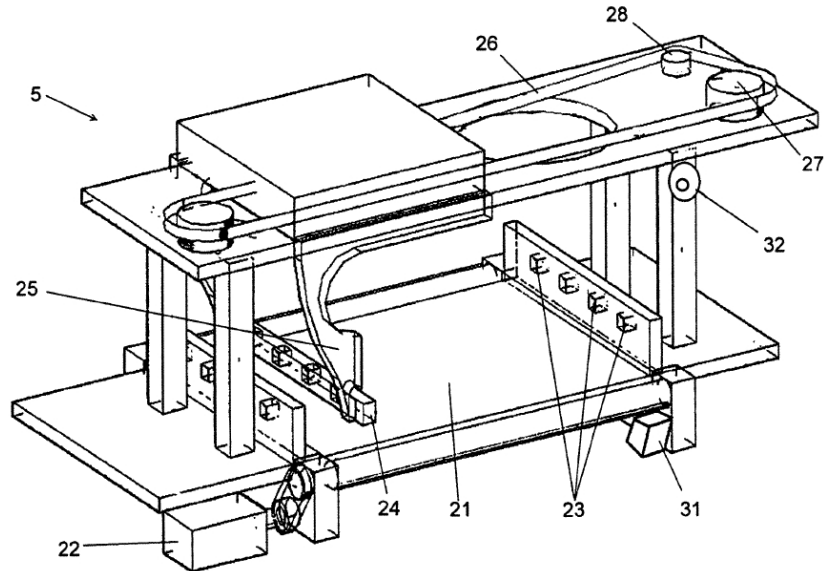
Las zonas de descarga pueden ser simples, como las zonas de descarga (12), o múltiples, como las zonas de descarga (13). Las zonas de descarga (12) simples transfieren los productos (1) de una vez, es decir, un actuador lineal (16) incide sobre un único carro (6) provocando su elevación y la salida del producto o productos (1) contenidos en dicho carro (6), mientras que en las zonas de descarga (13) múltiples se transfieren a la vez los productos (1) contenidos en varios carros (6) (en función de las necesidades del sistema), para ello, un único actuador lineal (16) incide sobre varios carros (6) con la ayuda de un útil (17) acoplado al actuador lineal (16). Análogamente, las zonas de recepción de productos (1) pueden ser zonas de recepción simples (14) o zonas de recepción múltiples (15).

Al realizar la transferencia de un producto (1) desde un acumulador cíclico principal (2) a otro acumulador cíclico secundario (7), ambos se detienen instantáneamente, utilizando un detector de parada (18), para efectuar la transferencia de uno o varios productos (1) a través del volcado del carro o carros (6) que los portan, y se dispone de un tobogán (19) y de un sensor de detección (20), preferentemente óptico, que detecta la correcta salida de cada producto (1) en su tránsito a otro acumulador cíclico. Al finalizar una transferencia, los acumuladores cíclicos (2, 3, 7) siguen avanzando hasta la próxima transferencia. Este proceso de transferencia se repite tantas veces como sea necesario para que todos los productos (1) lleguen al acumulador cíclico local (3) correspondiente.

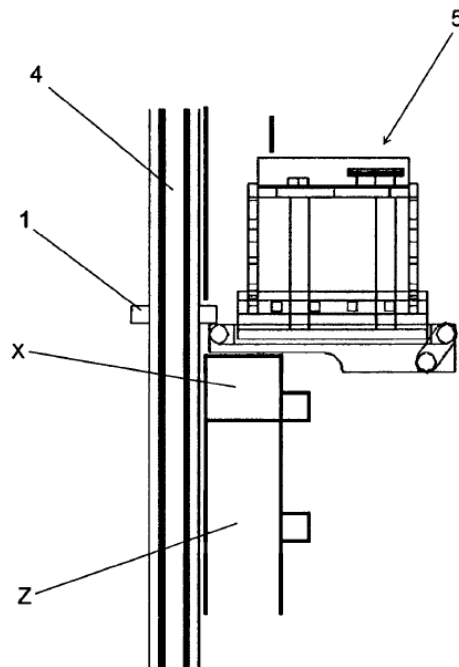
Cuando un producto (1) llega al acumulador cíclico local (3), éste lo descarga sobre el elemento manipulador (5) correspondiente a su máquina dispensadora (4), empleando el mismo sistema de transferencia de productos (1) mediante el volcado de un carro (6) que es utilizado en la transferencia de los productos de los carros (6) entre los acumuladores cíclicos (2, 3, 7).

El elemento manipulador (5), mostrado en la Fig. 3.35, se sitúa en la parte trasera de la máquina dispensadora (4) y es el encargado de almacenar el producto (1) en su ubicación final en la máquina dispensadora (4). El elemento manipulador

(5) se coloca sobre dos unidades lineales de desplazamiento, una horizontal (X), y otra vertical (Z), las cuáles le permiten moverse a lo ancho y alto de toda la máquina dispensadora (4), como se aprecia en la Fig. 3.36.



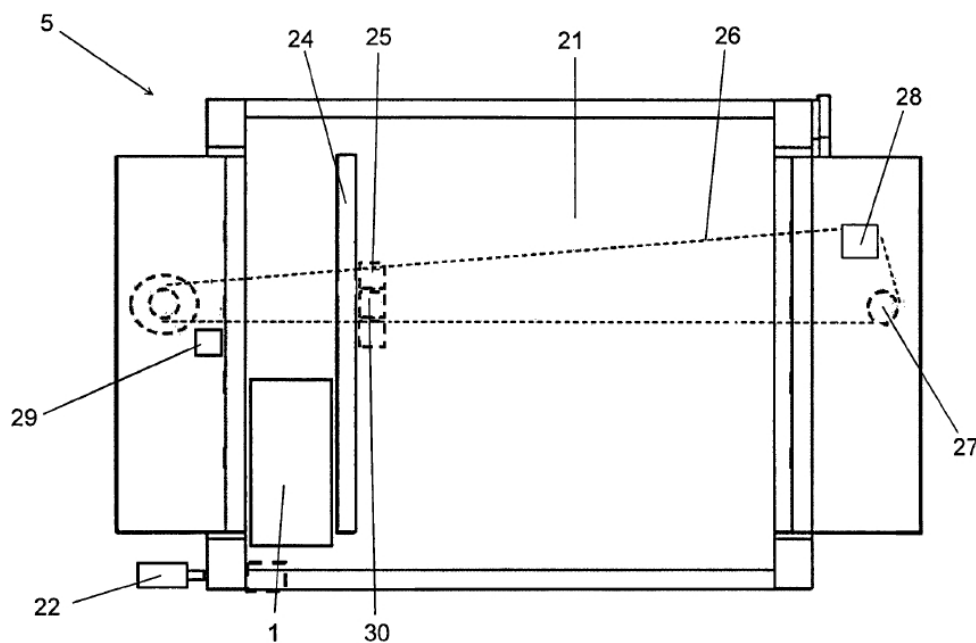
*Figura 3.35. Vista en perspectiva del elemento manipulador encargado de recibir y posicionar los productos.*



*Figura 3.36. Vista en perfil del elemento manipulador montado sobre unas unidades de desplazamiento horizontal y vertical.*

### 3.6. Patente del sistema de reposicionamiento automático basado en microservidores

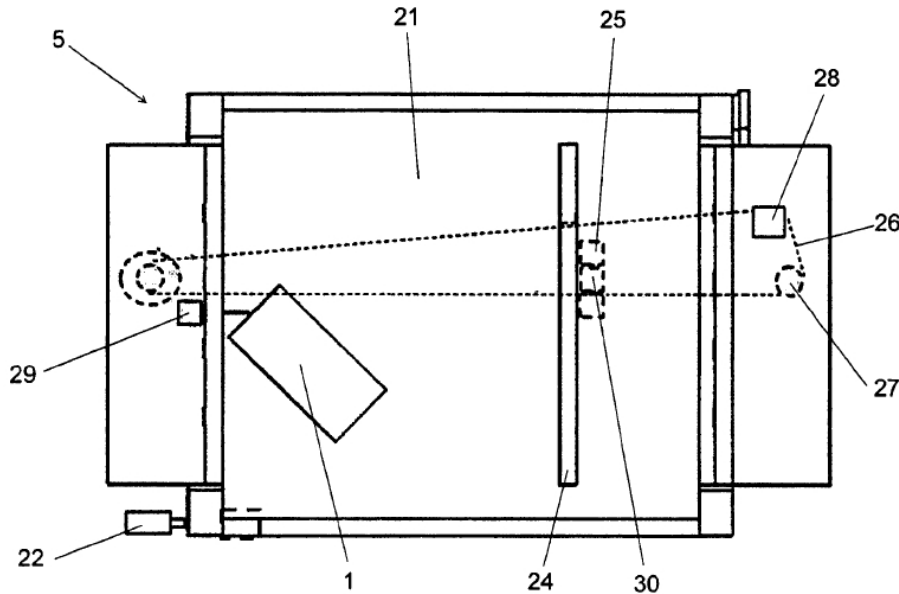
El elemento manipulador (5) dispone de una cinta transportadora (21) accionada por un motor (22), que es la encargada de recibir el producto (1) y de expulsarlo hacia la máquina dispensadora (4); unos sensores de detección (23), que controlan la posición del producto (1) en la cinta transportadora (21); un mecanismo palpador (24) sujetado por un soporte (25), que es accionado por un sistema de correa de transmisión (26), la cual es actuada por un motor eléctrico (27) provisto de un encóder (28), para el ajuste y medición del producto (1); dos actuadores lineales (29, 30), que junto con la cinta transportadora (21) y el palpador (24) permiten la rotación o el volcado del producto (1); y un sensor de medición de distancia (31), que detecta si hay espacio libre en la máquina dispensadora (4) antes de la descarga del producto (1). Opcionalmente, el elemento manipulador (5) puede incluir una cámara (32), para la visualización remota del proceso de reposicionamiento.



*Figura 3.37. Vista en planta del palpado y medición del producto en el manipulador previo a su inserción en el carril automático.*

El elemento manipulador (5) mide y centra el producto (1), para comprobar que está en la posición adecuada. En la Fig. 3.36 se muestra un producto (1), palpado y medido. En caso de que hubiera que rotar o volcar el producto (1) se inicia un proceso de giro o volcado, empleando los actuadores lineales (29, 30), la cinta transportadora (21) y el mecanismo palpador (24). En la Fig. 3.38, se muestra el proceso de rotación de un producto (1). La cinta transportadora (21) retrocede al producto (1) previamente ajustado con el mecanismo palpador (24), hasta una posición por detrás del actuador lineal (29), lo cual es detectado por los sensores de

detección (23). Para ello el palpador (24) se mueve liberando el producto (1) y cuando se produce el retroceso el actuador lineal (29) es activado.



*Figura 3.38. Vista en planta dos fases del procedimiento de posicionamiento de un producto para su correcta inserción en la máquina dispensadora correspondiente.*

A continuación la cinta transportadora (21) inicia de nuevo el avance, lo cual hace que el producto (1) golpee con el vástago del actuador lineal (29) provocando su rotación. El proceso se completa con un nuevo ajuste y medición del producto (1) mediante el mecanismo palpador (24). Una vez verificada la correcta posición del producto (1), el elemento manipulador (5) es transportado a través de las unidades de desplazamiento lineales (X, Z), hasta la ubicación en la que el producto (1) tiene que ser descargado, realizándose la descarga por la acción de avance de la cinta transportadora (21).

A la hora de introducir e identificar los productos (1) en el sistema hay varias opciones, mostradas en la Fig. 3.34. La más simple de todas es la identificación manual de los productos (1) por parte de un operario mediante una PDA o un PC. El operario lee el código de barras o la etiqueta RFID del producto (1) y lo deposita en el carro (6) de entrada del acumulador cíclico principal (2), en una zona de carga (33) habilitada para ello. Otra posibilidad consiste en depositar el producto (1) en el carro (6) sin identificación previa, siendo el propio sistema quien identifique todos los productos (1) que se inserten, mediante la lectura de estándares, como RFID o código de barras, por medio de lectores (34) situados estratégicamente a lo largo de los acumuladores cíclicos.

### **3.6. Patente del sistema de reposicionamiento automático basado en microservidores**

Otro método de carga de productos (1) en los acumuladores es mediante un dispensador-cargador (35), análogo a las máquinas dispensadoras (4). Consiste en introducir los productos (1) en una máquina dispensadora convencional, de columna vertical o balda inclinada, de forma que los productos (1) se descarguen automáticamente en los carros (6) del acumulador principal (2). Al igual que en los otros métodos, la identificación del producto puede ser realizada por el operario antes de introducir los productos (1) en el dispensador-cargador (35), o la identificación puede ser automática a través de lectores (34) del acumulador principal (2).

Se ha previsto que a lo largo de todos los acumuladores cíclicos (2, 3, 7) se disponga una pletina (36) para el guiado de los carros (6) y para evitar que los productos (1) contenidos en ellos puedan salir por inercia fuera del acumulador cíclico respectivo. La pletina (36) se extiende en toda la zona perimetral de los acumuladores cíclicos, salvo en las zonas de descarga (12, 13) para el trasvase de los productos (1).

#### **3.6.2 Reivindicaciones intelectuales del sistema de reposicionamiento automático**

El diseño del sistema de reposicionamiento automático con las características constructivas y funcionales descritas es una innovación internacional y debido a los posibles usos industriales de estos dispositivos dentro de la Arquitectura de Control Web 2.0, se ha escogido proceder a su patente.

Tras los estudios del estado del arte realizados por los especialistas de la Oficina de Patentes Española se validó la patentabilidad del sistema, el cual se encuentra actualmente protegido a nivel nacional través de una patente (Trueba, 2011), con código ES-2340019. Dicha patente se encuentra en el Anexo de la tesis. A continuación se muestran las principales reivindicaciones intelectuales del sistema en base a la descripción de las características presentada en el anterior Apartado 3.6.1. en las que los números referenciados en el texto se refieren a las partes descritas en las Fig. 3.28 a 3.38. Se ha realizado tanto la protección intelectual del tipo de instalación como del procedimiento de reposición.

#### ***Reivindicación Principal - Instalación.***

- 1.- Instalación para el reposicionamiento automático de productos comerciales, caracterizada porque está constituida por al menos un acumulador cíclico principal (2) que abastece simultáneamente de productos (1) a "n" acumuladores cíclicos locales (3), los cuales a su vez abastecen a "n" máquinas dispensadoras (4) por medio de "n" elementos manipuladores (5),

siendo “n” un número natural, y en donde los acumuladores cíclicos (2, 3) están provistos de una pluralidad de carros (6) que se mueven según un recorrido continuo, portando cada uno de los carros (6) un único tipo de producto (1).

#### ***Reivindicaciones Secundarias - Instalación.***

2.- Instalación para el reposicionamiento automático de productos comerciales, de acuerdo con la primera reivindicación, caracterizada porque los acumuladores cíclicos (2, 3) presentan una configuración en cascada, disponiéndose los acumuladores cíclicos locales (3) abastecedores de las máquinas dispensadoras (4) en una altura inferior a la del acumulador cíclico principal (2).

3.- Instalación para el reposicionamiento automático de productos comerciales, de acuerdo con la primera reivindicación, caracterizada porque los acumuladores cíclicos (2, 3) comprenden unas ruedas dentadas (8) accionadas por un motor (9), sobre las cuales va dispuesta una cadena de transmisión (10) que arrastra a los carros (6), yendo en el contorno periférico una pletina (36) de contención.

4.- Instalación para el reposicionamiento automático de productos comerciales, de acuerdo con la primera reivindicación, caracterizada porque los carros (6) comprenden una base (6.1), la cual dispone unos mecanismos de guiado (6.4) para el desplazamiento a largo del acumulador cíclico (2, 3) correspondiente, y una plataforma basculante (6.2) portadora del producto o productos (1), la cual es elevable mediante giro sobre una articulación (6.3), yendo cada carro (6) provisto con unos medios de identificación única.

5.- Instalación para el reposicionamiento automático de productos comerciales, de acuerdo con la primera reivindicación, caracterizada porque los acumuladores cíclicos (2, 3) disponen de, al menos, una zona de descarga (12) simple, desde la que se descargan los productos (1) a través de un tobogán (19) de trasvase a otro acumulador cíclico o al elemento manipulador (5) correspondiente.

6.- Instalación para el reposicionamiento automático de productos comerciales, de acuerdo con la primera reivindicación, caracterizada porque los acumuladores cíclicos (2, 3) disponen de, al menos, una zona de descarga (13) múltiple, desde la que se descargan varios productos (1) a través de respectivos toboganes (19) de trasvase a otro acumulador cíclico o a los elementos manipuladores (5) correspondientes.

### **3.6. Patente del sistema de reposicionamiento automático basado en microservidores**

7.- Instalación para el reposicionamiento automático de productos comerciales, de acuerdo con la primera reivindicación, caracterizada porque el elemento manipulador (5) consta de una cinta transportadora (21) para recibir el producto (1); unos sensores de detección (23) que controlan la posición del producto (1); un mecanismo palpador (24) accionado para el ajuste y medición del producto (1); dos actuadores lineales (29, 30) que permiten la rotación y el volcado del producto (1); y un sensor de medición de distancia (31) que detecta si hay espacio libre en la máquina dispensadora (4) a la que va destinado el producto (1).

8.- Instalación para el reposicionamiento automático de productos comerciales, de acuerdo con la primera reivindicación, caracterizada porque los acumuladores cíclicos (2, 3) disponen de un detector de parada (18) que detiene el movimiento cuando se va a realizar un trasvase de producto (1), un lector de identificación (11) que identifica los carros (6) que realizan el trasvase y un sensor de detección (20) que verifica el trasvase.

9.- Instalación para el reposicionamiento automático de productos comerciales, de acuerdo con la primera reivindicación, caracterizada porque el acumulador cíclico principal (2) dispone de un lector (34) para identificar los productos (1) que se disponen en los carros (6).

10.- Instalación para el reposicionamiento automático de productos comerciales, de acuerdo con la primera, quinta y sexta reivindicaciones, caracterizada porque las zonas de descarga (12, 13) disponen de un actuador lineal (16) que provoca la transferencia de los productos (1) mediante el volcado de los carros (6) correspondientes.

11.- Instalación para el reposicionamiento automático de productos comerciales, de acuerdo con la primera reivindicación, caracterizada porque, entre el acumulador cíclico principal (2) y los acumuladores cíclicos locales (3), se dispone al menos un acumulador cíclico secundario (7), de igual configuración que los anteriores, cuando el volumen de productos (1) en la instalación así lo precise.

#### ***Reivindicación Principal – Procedimiento.***

12.- Procedimiento de reposición, para el reposicionamiento automático de productos comerciales con la instalación de la primera reivindicación, caracterizado porque los productos (1) a reponer son introducidos en respectivos carros (6) que forman parte de un acumulador cíclico principal (2), mediante el cual son conducidos hasta una zona de descarga (12, 13), en donde los productos (1) son trasvasados a respectivos carros (6) que forman

parte de acumuladores cíclicos locales (3), desde donde cada producto (1) es trasvasado a un elemento manipulador (5) que le recepciona y le posiciona correctamente para introducirle en una máquina dispensadora (4).

#### ***Reivindicación Secundaria - Procedimiento.***

13.- Procedimiento de reposición, de acuerdo con la doceava reivindicación, caracterizado porque para posicionar correctamente cada producto (1) el elemento manipulador (5) mide la anchura del producto (1) y lo gira o voltea, si es necesario, para colocarle en la posición correcta para su introducción en la máquina dispensadora (4) a la que vaya destinado.

La patente se encuentra con las tasas anuales abonadas y en explotación por parte de las empresas de ingeniería que han adquirido las licencias para su comercialización.

### **3.7 Diseño informático de la Arquitectura de Control Web 2.0**

Si bien los microservidores con su modo particular constructivo son los sistemas hardware diferenciales de la Arquitectura de Control Web 2.0 respecto a las soluciones clásicas con autómatas, la arquitectura software es igualmente importante y necesaria para la viabilidad técnica y funcional del conjunto. El ordenador denominado servidor es el equipo que integra el software necesario para que todo el sistema de comunicaciones y control funcione.

Como se ha explicado en la descripción general, este equipo se recomienda que esté duplicado, de forma que la ejecución de las tareas pueda realizarse de forma redundante y si el ordenador principal falla, el ordenador de respaldo pueda entrar en ejecución manteniendo los microservidores en funcionamiento. Este ordenador de respaldo puede estar virtualizado tanto en otro servidor de la empresa como fuera de ella.

A nivel informático es necesario el uso de una base de datos para intercambiar la información de las matrices empleadas en el algoritmo de dispensación entre el ERP y el sistema de microservidores. Existen varios tipos de tablas, algunas son específicas para la transmisión de la información de los pedidos y sus resultados, otras son utilizadas para la configuración de los carriles, y finalmente un tercer tipo de tablas son empleadas para la gestión de datos históricos.

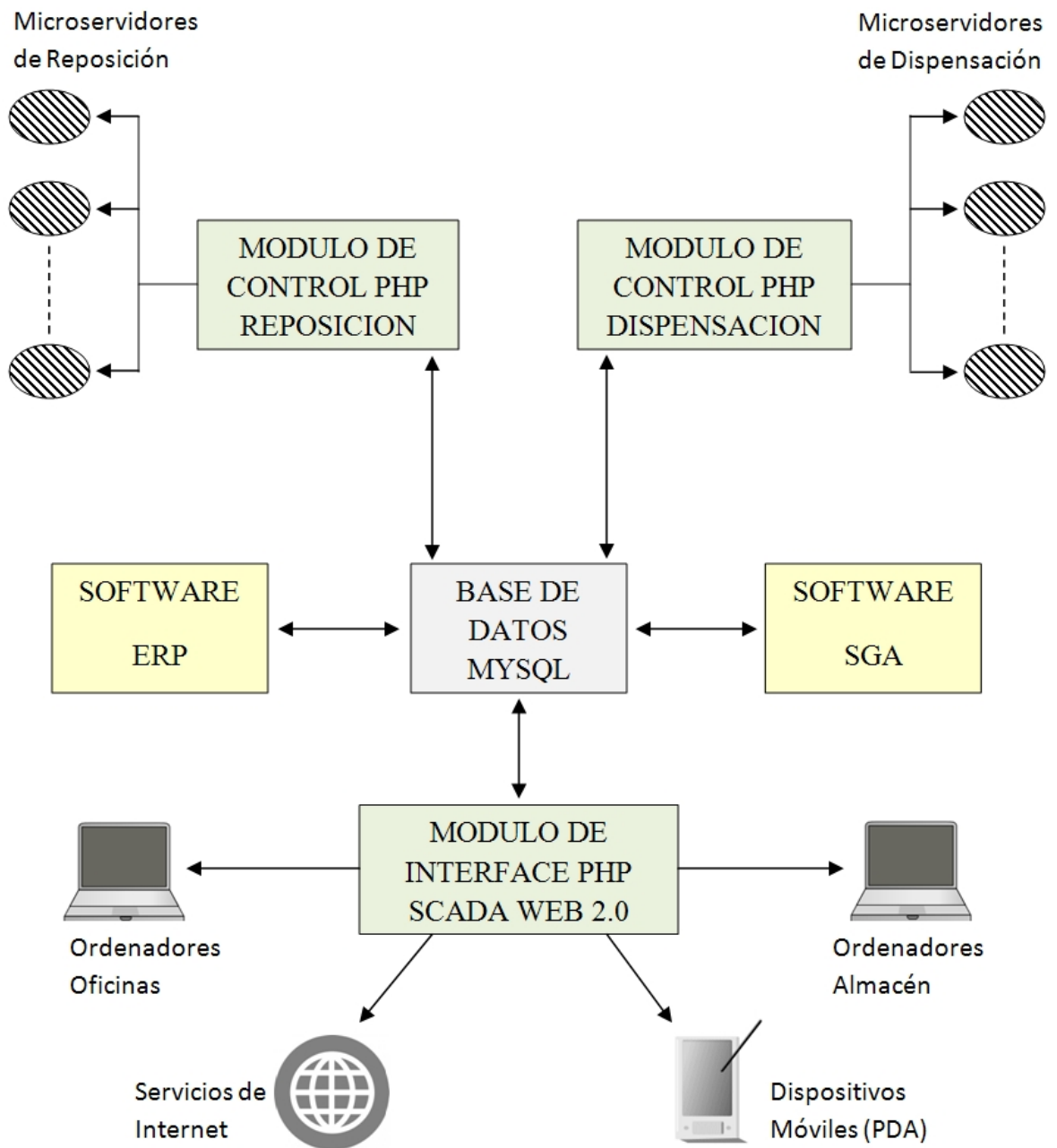


Figura 3.39. Diagrama de bloques y relaciones de los componentes software de la Arquitectura de Control Web 2.0.

Los datos de preparación de los pedidos deben estar cargados en la base de datos con la suficiente antelación para que pueda ejecutarse el algoritmo de ordenación de los pedidos y de asignación de orden y tiempos para las líneas de pedido. Según se completa un pedido, la información correspondiente a los lotes y estado de preparación que se ha producido para cada pedido está disponible en tiempo real en la base de datos de la arquitectura.

El lenguaje de programación que se ha utilizado tanto para las funciones del ordenador servidor como para los programas de control ejecutados por los microservidores, es el lenguaje PHP. Empresas que manejan gran cantidad de datos, como la compañía Facebook, han optado por el lenguaje PHP como tecnología de servidor.

En la Fig. 3.39 se observa el diagrama de bloques funcional de la arquitectura software. El módulo base de datos contiene un sistema de almacenamiento de información mediante la tecnología MySQL. Se ha escogido este tipo de base de datos, por ser libre, tener gran velocidad para el tratamiento de datos, estar preparada para manejo de grandes volúmenes de información, y utilizar sentencias de lenguaje SQL, que es uno de los mayores estándares de los sistemas de base de datos y fácilmente compatible con la mayoría de programas de gestión del mercado.

La base de datos es un elemento nuclear de esta arquitectura informática, puesto que los programas externos que necesitan interactuar con la Arquitectura de Control Web 2.0 deben hacerlo escribiendo y leyendo información de esta base de datos. Este sistema de compatibilización se sugiere como mejor alternativa frente a los sistemas de interfaces que emplean intercambios de ficheros, como es muy habitual en las arquitecturas de control clásicas.

El sistema informático deberá dialogar con dos tipos de programas presentes en las empresas. El primer tipo es el programa general de gestión, denominado por las siglas ERP, que es el programa que gestiona la mayor parte de la información de la empresa. Desde este programa se deberán lanzar los pedidos o las órdenes de producción al sistema de automatización de forma que se inicien los procesos automáticos. Toda la información de producción o históricos generados por el proceso de control ejecutado en los microservidores, será accesible al programa de gestión ERP a través del sistema comentado de bases de datos MySQL.

El segundo programa con el que puede dialogar habitualmente el servidor de control es el programa de gestión del almacén, denominado habitualmente WMS o SGA. Este programa es empleado en aquellas empresas que tienen una logística más compleja y por ello mayor manejo de información para la preparación de inventarios, gestión de stocks, etc. En este caso, los pedidos y las órdenes enviadas al servidor de control procederán desde este programa.

Para facilitar la supervisión del proceso de control, la revisión de los datos básicos de funcionamiento y realizar tareas de configuración, se ha desarrollado un módulo de interface con tecnología Web. A través del lenguaje PHP se genera un conjunto de páginas Web SCADA. Gracias a la sencillez del PHP a la hora de generar entornos complejos de consulta y búsqueda en las bases de datos MySQL, la generación de los datos a mostrar a los usuarios se realiza de forma rápida y eficaz.

Este sistema de interface es accesible desde cualquier ordenador de la red informática con acceso por red al servidor de control. El programa informático necesario para acceder al interface de control es un simple navegador Web. Esta es una de las principales diferencias de esta arquitectura informática respecto a las soluciones clásicas, ya que no hace falta la instalación de un programa de control de escritorio que tan solo es ejecutado desde determinados ordenadores licenciados en la empresa. Otra ventaja adicional es que las páginas Web están generadas para ser multidispositivo, de manera que se pueden ejecutar en ordenadores, PDA's o teléfonos inteligentes.

Una vez que un usuario accede al módulo de interfaz mediante el navegador Web de su dispositivo en uso, tiene que autenticarse para poder acceder al programa. A su vez, en función de su usuario y contraseña, podrá acceder a determinados contenidos o tendrá capacidad para poder modificar determinados datos de configuración. Para ello, se utiliza toda la tecnología Web de seguridad ya desarrollada en el estado del arte actual. En función del usuario también se determina el tipo de contenido al que desea acceder, ya que no es lo mismo un usuario de oficinas que desea por ejemplo conocer stocks en tiempo real para gestionar compras, que un usuario de almacén que desea organizar pedidos o visualizar tareas de mantenimiento desde los microservidores.

Cuando el usuario está autenticado en la aplicación, inicia la navegación realizando las consultas a la base de datos en función de las secciones que necesite consultar. Por ejemplo, datos históricos, vista de pedidos en curso, finalizados, inventarios, etc. Toda la información es leída y mostrada a través de consultas al sistema de base de datos MySQL, pero al realizar las consultas y muestra de información a través de este entorno controlado, se evita que un usuario que estuviera manejando directamente la información de la base de datos pudiera dañar repentinamente el sistema.

Otra ventaja del empleo de tecnología Web como programa de supervisión del proceso de control, radica en la sencillez para abrir las comunicaciones al exterior a través de Internet. Esto permite que en aquellas aplicaciones en las que se recomiende que exista un servicio de telemantenimiento, se puede generar un acceso directo al servidor de control para que pueda operarse en este ordenador del mismo modo que un usuario en red local. En cualquier caso, también cabe destacar

que se recomienda el empleo de tecnologías de seguridad tipo VNC para permitir el acceso remoto al servidor de control.

La tecnología Web como interface para el usuario también tiene la virtud de que su empleo es universal con independencia del sistema operativo que esté instalado en la empresa, o con la existencia de ordenadores con distintos sistemas operativos. El módulo de interface tan sólo requiere un navegador Web para ser ejecutado y es totalmente independiente del tipo de sistema operativo del ordenador desde el que se acceda a él, lo que no sucede con las aplicaciones de control de escritorio. También puede darse el caso de su uso en empresas en las que conviven ordenadores con distintos sistemas operativos, como Windows y Linux, y acceder por igual al interface Web del sistema.

Se recomienda la instalación de un PC para tareas de mantenimiento y supervisión en la propia planta industrial, que esté conectado por red Ethernet al servidor de control y que utilice un interface predeterminado con los principales parámetros a supervisar en estas labores. Este puesto informático realiza las funciones clásicas de los puestos de supervisión y control en las arquitecturas de control clásicas, con la diferencia de que es un ordenador actuando como cliente de un servidor informático, por lo que no necesita ningún requisito hardware especial para su total funcionalidad.

El servidor de control, además de almacenar datos y mostrar los interfaces de usuario para la navegación por la base de datos y los parámetros de control, ejecuta las tareas de control del algoritmo, como el envío de las matrices de dispensación a los microservidores de dispensación o las órdenes de reposición a los microservidores de reposición, para lo cual también se ha escogido el empleo de un lenguaje de programación PHP, nativo de la tecnología Web.

#### ***3.7.1 Base de datos MySQL***

Cabe destacar la importancia del sistema de Base de Datos, ya que en ella se basa el sistema de interface e intercambio de información entre los programas de gestión de la empresa y los microservidores de control.

La base de datos escogida para la Arquitectura de Control Web 2.0 es MySQL, debido a su capacidad para manejar grandes volúmenes de información y por ser una base de datos multiplataforma, es decir, que se puede ejecutar en cualquier sistema operativo (Windows, Linux y Unix). Otra ventaja adicional es su sencilla integración con cualquier programa ERP o SGA, ya que la mayoría de ellos pueden ejecutar instrucciones de base de datos SQL. Otro factor importante, es el hecho de que MySQL es una plataforma de código abierto, por lo que el usuario puede personalizar las características del servidor según sus requisitos (Bassil, 2012).

MySQL tiene potente motor de base de datos que permite configuraciones para aplicaciones específicas con resultados espectaculares. Suele ser el tiempo de base de datos escogida en las aplicaciones que requieren alta velocidad de procesamiento, como son los sitios web con millones de consultas. Empresas como Amazon, confían en MySQL para sus sitios Web. Otras características técnicas importantes de MySQL son su alto nivel de disponibilidad, transacciones robustas, fuerte protección de datos, y sencilla administración.

La base de datos almacena toda la información de que el proceso necesita para que funcione correctamente, así como los datos históricos resultado de cada proceso ejecutado. Todos los módulos software implicados en la arquitectura así como otros programas externos realizan continuamente consultas a la base de datos y de forma simultánea. Estas consultas tienen que ser contestadas en tiempo real, por lo que la fiabilidad y la velocidad de la base de datos es un requisito fundamental. En las experimentaciones prácticas realizadas durante la tesis, MySQL ha demostrado cumplir con este requisito.

La aplicación de la base de datos MySQL en la Industria de Distribución Farmacéutica requiere el desarrollo de una estructura de tablas relacionadas. Los clientes están almacenados en una tabla que es alimentada directamente con los datos del ERP. Los pedidos de los clientes son igualmente transferidos a otra tabla de la base de datos para que se inicie el proceso de preparación. Los pedidos deben ser divididos en cubetas mediante un algoritmo de control volumétrico, de forma que el programa de control genera N cubetas correspondientes a cada uno de los pedidos transmitidos.

La tabla *cubeta* es complementada con la tabla *líneas\_cubeta* que contiene los productos unitarios que es necesario preparar para cada pedido. En estas tablas se va almacenando a través de unas variables de los campos "estado" el nivel de preparación de cada línea de pedido o las posibles incidencias como falta de productos o problemas de dispensación en el carril. Para que el algoritmo de dispensación se inicie la tabla *líneas\_cubeta* debe relacionarse con la tabla *ubicaciones* que contiene la disposición de los microservidores en la instalación correspondiente a los códigos nacionales de cada uno de los productos solicitados en el pedido. Una misma línea de pedido puede tener más de una ubicación debido al concepto multicanal contemplado en la instalación.

La tabla *ubicaciones* se alimenta de la tabla *productos* sincronizada con el ERP que contiene la información actualizada del sistema referente a las características físicas de cada producto, código nacional, código de barras y demás parámetros. También se han diseñado tablas específicas para recibir las órdenes de reposición de los usuarios desde los dispositivos PDA e iniciar así el proceso de reposición con los microservidores con leds instalados en la parte trasera de las estanterías.

### 3. Diseño de la Arquitectura de Control Web 2.0 y algoritmos

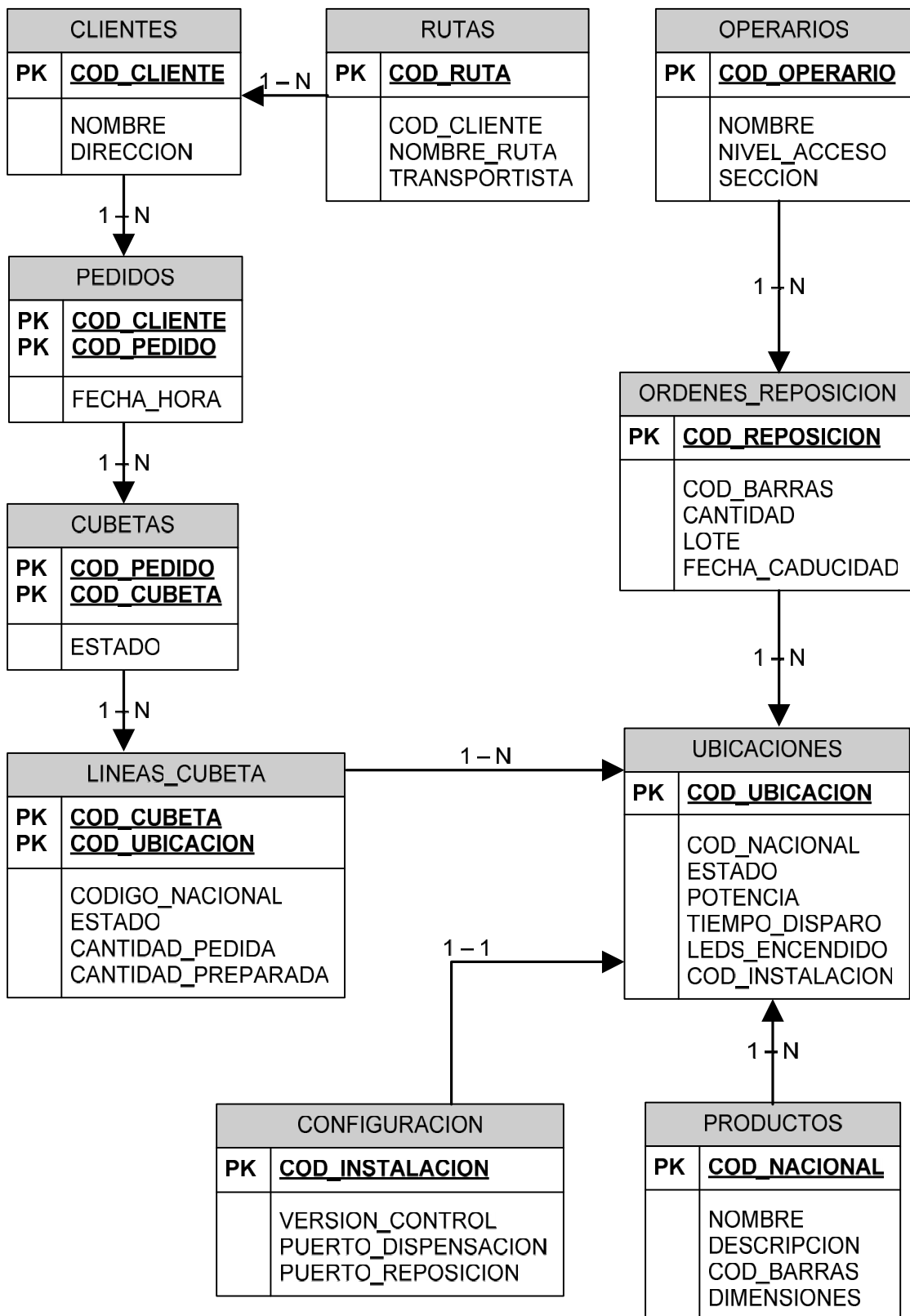


Figura 3.40. Diagrama conceptual de relación de la base de datos MySQL

### **3.7.2 SCADA Web 2.0**

La solución clásica para los programas de supervisión y adquisición de datos de la planta se basan en aplicaciones de escritorio desarrolladas por las plataformas de paquetes SCADA comerciales. Un programa SCADA es una buena solución para la visualización del estado del sistema e incluso para controlarlo. Para el desarrollo del SCADA en la Arquitectura de Control Web 2.0 se ha optado por desarrollar un entorno potente y amigable, que permita mejorar la experiencia de manejo entre los usuarios y el sistema, gracias a una interfaz Web que resulta sencilla de comprender.

La fuente de datos para el programa SCADA Web 2.0 es la base de datos MySQL. El programa, desarrollado en lenguaje PHP está continuamente actualizando la información mostrada y que a su vez es refrescada por los microservidores, ERP y SGA sobre la base de datos. Gracias a la tecnología software PHP utilizada, la comunicación entre el SCADA y la base de datos se realiza de forma nativa.

El SCADA dispone de control de usuarios y personalización del entorno en función del nivel de acceso, información de configuración que queda almacenada en la propia base de datos MySQL, y gracias a ser un entorno Web puede publicar información disponible en cualquier ordenador con el único requisito de disponer de un navegador Web.

Una importante función del programa SCADA es que resulta la pasarela para realizar las tareas de telemantenimiento que pueden ser ejecutadas por empresas externas. El sistema puede ser configurado de forma remota, o bien obtenerse datos históricos o sobre el estado de funcionamiento de la instalación en tiempo real. La tecnología Web del SCADA permite que el acceso remoto al sistema tenga el mismo entorno que si se está trabajando online dentro de la red, con la única diferencia de incluir un protocolo VPN de seguridad para la validación controlada de los accesos externos.

Otra ventaja de realizar las labores de mantenimiento del sistema de forma remota consiste en evitar interrupciones de la operación de la planta, lo que redundaría en una mejora del servicio. El acceso remoto a través del SCADA Web 2.0 ayuda a gestionar las labores de mantenimiento preventivo, es decir, descubrir un posible fallo antes de que suceda y repararlo. Gracias a esta metodología se aumenta la robustez del sistema.

Se ha contemplado como un requisito las exportaciones de datos desde el SCADA a formatos CSV o plataformas de ofimática como Excel o Word, para facilitar al usuario la extracción de informes, que es una práctica muy habitual en

este sector industrial dado el gran volumen de información necesaria para la correcta gestión de los productos en el almacén y control de los pedidos.

También se considera que el SCADA Web 2.0 debe aportar un nivel de visualización de información al usuario más cómodo que las herramientas convencionales utilizadas por los programas de los almacenes que se limitan a la generación de largos listados con la única ayuda de filtros. Para ello, se debe aportar una visualización gráfica del estado de los carriles que mediante distintos colores permita al usuario conocer fácilmente los carriles con problemas de stock, sin configurar, vacíos o con necesidad de reposición.

#### **3.8 Resumen de la arquitectura propuesta**

En este capítulo se ha desarrollado la base teórica de la Arquitectura de Control Web 2.0 identificando todos sus componentes y dando solución al diseño de los microservidores específicos para la aplicación de la arquitectura en el sector farmacéutico.

Los microservidores de dispensación y de reposición son sistemas electrónicos específicamente diseñados para cumplir con los requisitos operativos de la aplicación de preparación de pedidos farmacéuticos y el reposicionamiento de sus carriles. Para la problemática del reposicionamiento se han desarrollado dos sistemas, uno semiautomático a través de leds distribuidos y otro totalmente automático. Las características funcionales únicas de los microservidores de dispensación y de reposicionamiento han sido reconocidas como innovaciones internacionales obteniendo cuatro patentes.

También se ha presentado la lógica de control y de los algoritmos que debe ser empleada para el correcto aprovechamiento de los microservidores en la Arquitectura de Control Web 2.0, y se han propuesto mejoras respecto a los algoritmos clásicos como el reparto en tiempo real de carriles multicanales o el uso simultáneo de varios canales para productos de peso específico.

La combinación de todos estos elementos es una tecnología innovadora que presenta un cambio de paradigma para la resolución de los requisitos de automatización y control en el sector de la logística de distribución farmacéutica. En la Fig. 3.41 se muestra una tabla comparativa de las tecnologías clásicas empleadas para la automatización y que han sido presentadas en el Capítulo 2 y la solución desarrollada. Los cambios son notables y muestran cómo la tesis afronta de forma disruptiva la solución clásica desde un cambio de paradigma tecnológico. Queda pendiente validar desde un punto de vista cuantitativo y cualitativo la eficacia y la eficiencia de la solución propuesta, aspecto que es abordado en el Capítulo 4 de la tesis.

### 3.8. Resumen de la arquitectura propuesta

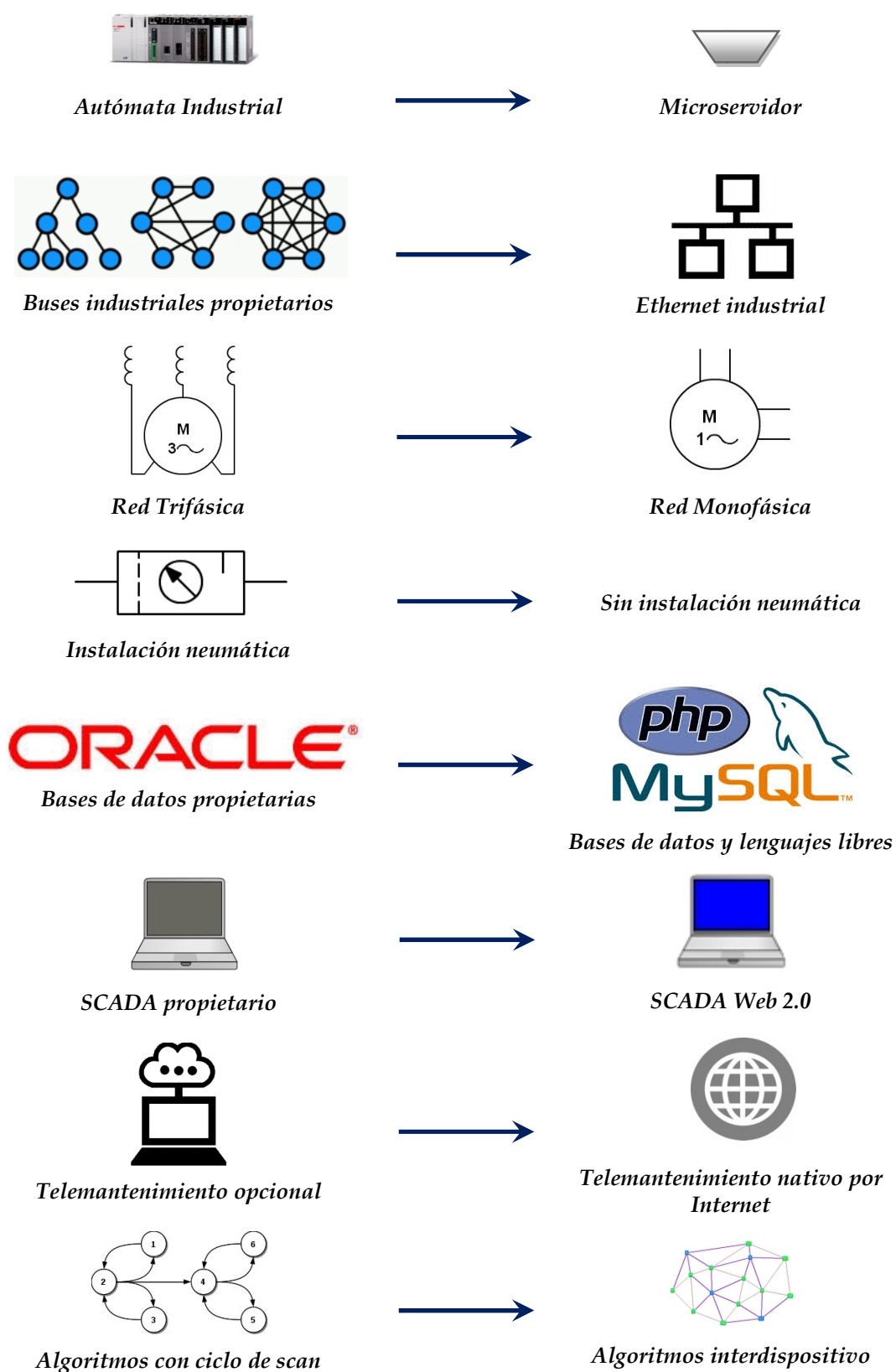


Figura 3.41. Comparativa tecnológica entre la solución clásica y la solución propuesta.



## Implementación y validación de la Arquitectura de Control Web 2.0

**P**ara poder analizar la viabilidad técnica de la Arquitectura de Control Web 2.0 aplicada al sector farmacéutico y comparar los resultados de su aplicación práctica con las arquitecturas de control clásicas ha sido necesario el desarrollo de prototipos experimentales capaces de trabajar en un entorno real y permitir una toma de datos para la obtención de resultados comparativos.

La implementación de la arquitectura se ha realizado tanto a nivel de la gran distribución, como es su aplicación en una industria farmacéutica, como a nivel de pequeña distribución, que es el caso de la aplicación del sistema en una farmacia. En ambos entornos, existen sistemas de automatización clásicos que permiten la preparación automática de pedidos, y en ellos se ha realizado el mismo proceso con un enfoque diferente mediante la Arquitectura de Control Web 2.0.

En este capítulo se muestra en las secciones 4.1 y 4.2 el desarrollo experimental de los prototipos, tanto hardware como software, analizando como se han diseñado y construido los sistemas basados en microservidor de control y reposicionamiento así como el programa SCADA. Estos primeros apartados realizan una descripción

industrial de los conceptos de microservidor ya explicados en el Capítulo 3, y sirven para establecer el escenario de evaluación sobre el que se han tomado los datos.

En la sección 4.3 se muestra la toma de datos que ha sido realizada de forma experimental tanto en la Arquitectura de Control Web 2.0 desarrollada como en un sistema clásico de control del fabricante SSI-SCHÄFER, líder mundial en soluciones clásicas de automatización para el sector farmacéutico. En la sección 4.4 se realiza un análisis detallado de los resultados obtenidos.

Gracias a la colaboración de empresas de distribución farmacéutica y farmacias, se ha podido proceder a la instalación de sistemas con esta nueva arquitectura de control en entornos reales y se ha podido realizar la comparación de los resultados de funcionamiento. También merece especial agradecimiento las empresas de ingeniería y robótica que han participado en la construcción física de los prototipos y en la financiación de los costes de materiales para la realización de los experimentos.

Resulta fundamental proceder a la implementación práctica de la Arquitectura de Control Web 2.0 incluyendo la construcción física de los sistemas basados en microservidor como paso previo para poder realizar la validación de las hipótesis y diseños planteados en el Capítulo 3 de la tesis. Aunque algunas partes que son descritas en el presente capítulo no son nucleares de la aportación de la tesis, su desarrollo sí es necesario para implementar y evaluar el rendimiento global de la solución, y por lo tanto serán descritas del mismo modo que las funcionales.

### **4.1 Implementación de la Arquitectura de Control Web 2.0**

A continuación se presenta una descripción técnica industrial del desarrollo específico realizado en la tesis doctoral para convertir los conceptos presentados en las patentes y en el diseño de la Arquitectura de Control Web 2.0 en dispositivos industriales funcionales con total capacidad operativa para su experimentación en condiciones de trabajo real. En este apartado se vuelven a analizar las características técnicas de los microservidores y de la arquitectura informática desde el punto de vista de la ejecución técnica desarrollada.

#### ***4.1.1 Prototipo de microservidores de dispensación***

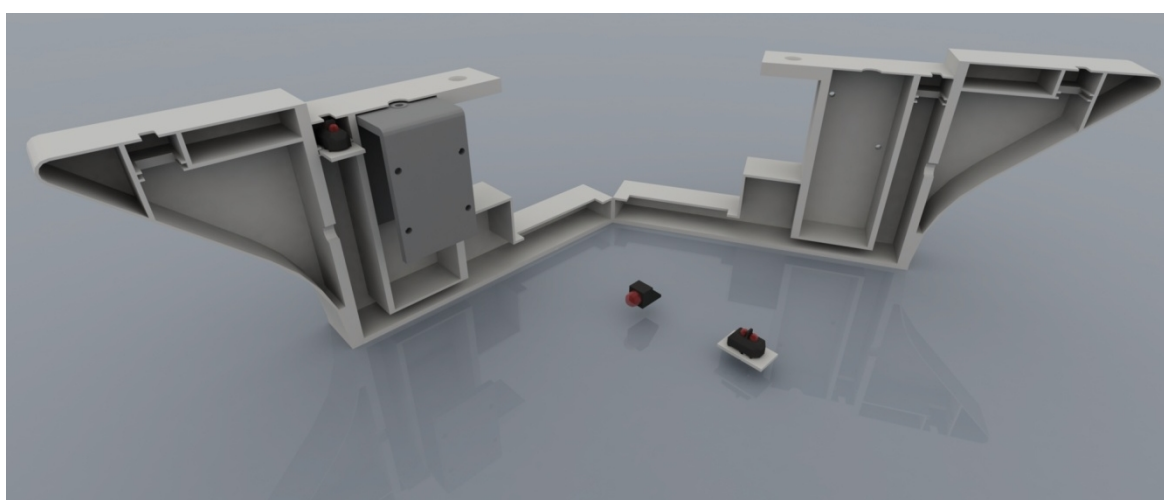
Los microservidores de dispensación son los dispositivos que contienen toda la electrónica de control, comunicaciones, sensores y mecánica necesaria para completar el proceso de dispensación de medicamentos en un carril conforme la Arquitectura de Control Web 2.0 descrita. Como elemento de control para el microservidor se ha escogido un microcontrolador con capacidad de comunicación

Ethernet. El dispositivo consta de dos sensores, uno para detectar la presencia de medicamentos en el carril y otro para detectar la salida del medicamento.

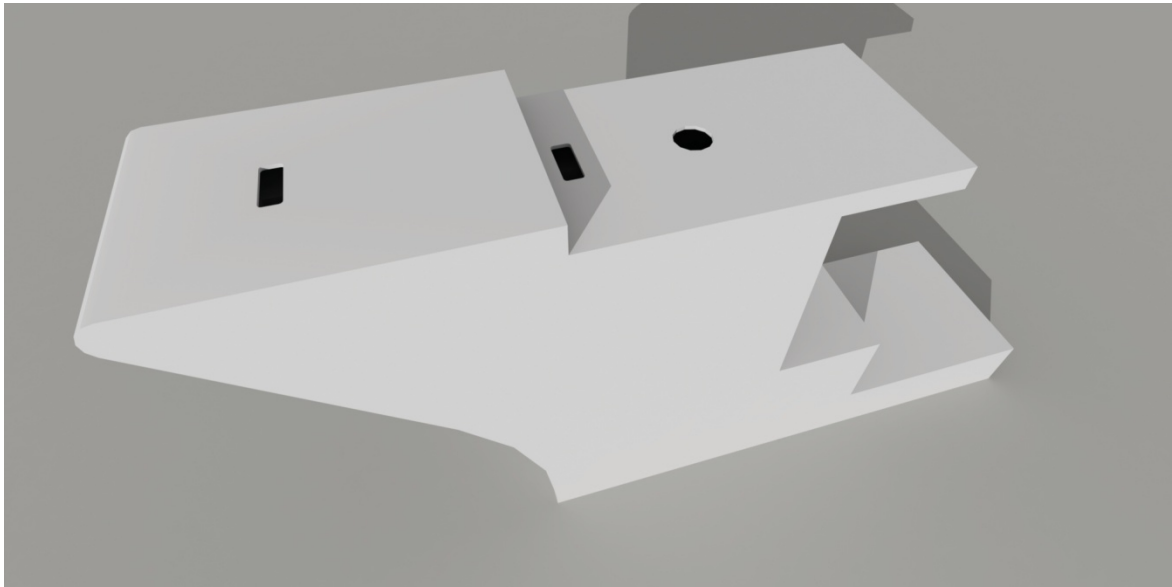
Ha sido necesario diseñar la tarjeta electrónica específica para contener las características electrónicas específicas del microservidor de dispensación. También ha sido necesario desarrollar un dispositivo electromagnético que pueda ser empleado para el proceso de dispensación. Se ha escogido un solenoide de empuje que levanta un vástago 10 mm cada vez que recibe un impulso eléctrico.

La potencia del impulso del vástago que levanta los medicamentos de la balda inclinada es regulable, conforme las características de configuración del microservidor. Se puede configurar tanto la potencia del empuje del vástago, como el tiempo que permanece levantado y el tiempo entre levantamientos en caso de tener que dispensar varios productos. Para realizar la regulación de la potencia del vástago se dispone de un circuito de salida de alimentación del solenoide con transistor MOSFET que realiza una modulación de anchura de pulsos para regular la energía eficaz que es aplicada a la bobina del solenoide, lo que produce una mayor o menor velocidad en el proceso de elevación del vástago.

Otro aspecto importante del circuito electrónico es el filtrado y modulación de los sensores ópticos encargados de la detección del paso de medicamentos, ya que debe ser capaz de filtrar la luz ambiental que puede ser elevada en el entorno de las farmacias y almacenes de distribución. Para que todo el conjunto de componentes electrónicos y mecánicos que forman el servidor puedan albergarse en un único dispositivo, se ha diseñado un molde de plástico que contiene todos los elementos y que facilita su montaje. Además de la tarjeta electrónica y el solenoide hay que considerar dos sensores ópticos, uno para detectar los medicamentos en la balda y otro para realizar el contaje de los medicamentos que son dispensados.



*Figura 4.1. Diseño 3D renderizado del interior de la carcasa para contener los elementos del microservidor.*



*Figura 4.2. Diseño 3D renderizado del microservidor con la carcasa cerrada.*

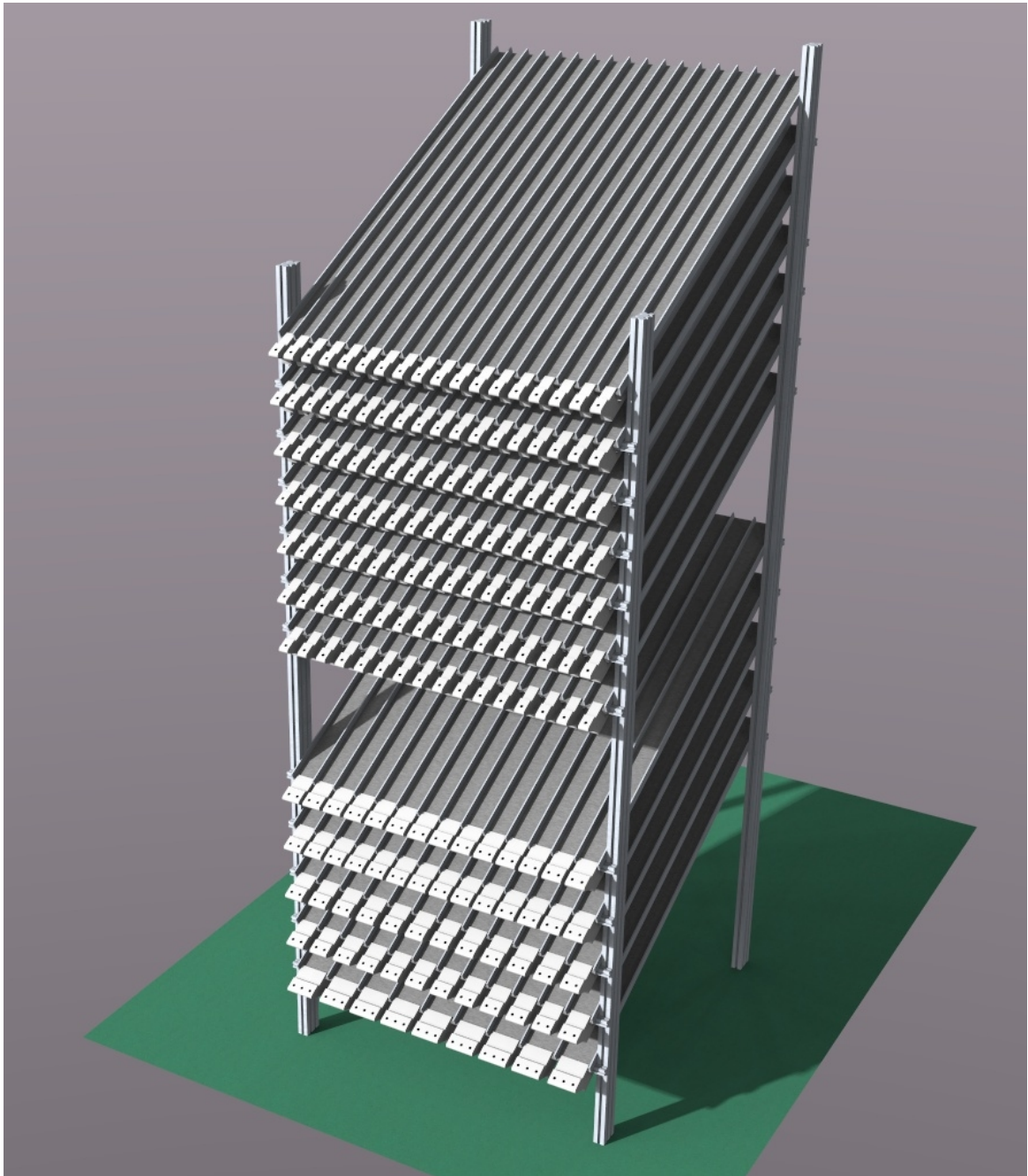
El diseño de la carcasa para el microservidor se ha realizado en tres dimensiones para poder contemplar la ubicación de todos los elementos de forma precisa. La carcasa mecánica considera el espacio para la ubicación de los conectores que sirven para la interconexión de los microservidores y también las aperturas para que asomen los sensores ópticos encargados de comprobar el movimiento de los productos.

A través de la detección de los medicamentos en balda con el primer sensor óptico se actualiza la información en la base de datos acerca de la presencia o ausencia total de productos, lo que corrige el stock presente en la balda y es utilizado por los microservidores de reposición para proceder a iluminar los diodos leds ubicados en la parte trasera de la estructura.

La carcasa mecánica del microservidor está diseñada para que el sistema se pueda anclar fácilmente a través de un perfil de aluminio ranurado a una balda inclinada, y permita la movilidad de los microservidores para adaptarse a los distintos tamaños de los productos. Un carril dispensador se forma por el microservidor de dispensación y por unas canaletas separadoras.

Durante el proceso de dispensación el sensor de salida se encarga del conteo de los productos que son expulsados. En caso de no detectar la salida del producto o en caso de detectar que cae más de una unidad correspondiente a un único impulso de elevación del medicamento, se genera un aviso que es registrado en la tabla de errores de la base de datos, y que es utilizada por el personal de mantenimiento para proceder a la correcta puesta a punto de los carriles. Por ejemplo, si un carril

con un producto muy pesado es configurado con baja potencia, pueden generarse atascos por falta de energía durante el proceso de elevación del medicamento.



*Figura 4.3. Diseño 3D renderizado de la estructura conteniendo los microservidores dispensadores. Se aprecian configuraciones de microservidores dobles y triples en la parte inferior del armario.*

#### 4. Implementación y validación de la Arquitectura de Control Web 2.0

---



*Figura 4.4. Instalación prototipo de 1.000 microservidores de dispensación con la Arquitectura de Control Web 2.0.*

Para productos de mucho peso es posible utilizar el concepto de empleo de más de un microservidor de dispensación en el mismo carril, lo que denominamos microservidor de dispensación doble o triple. Con esta configuración se consigue multiplicar el efecto de empuje del vástago sobre el producto. En algunas ocasiones esta configuración también es necesaria no tanto por una limitación de la potencia de elevación del vástago sino por la deformación que produce el vástago sobre la caja al levantarlo. Para solucionarlo, se emplea nuevamente la configuración doble o triple de microservidores dispensadores, ya que la arquitectura informática de control está preparada para estas configuraciones.

Un microservidor de dispensación de forma unitaria no tiene aplicación en la industria de distribución farmacéutica que maneja decenas de miles de referencias. Es necesario realizar máquinas que alberguen centenares o miles de estos dispositivos. La estructura escogida para esta configuración es de perfil de aluminio anodizado y consta de ranuras continuas que permiten regular la altura e inclinación de las baldas en las que se ubican los productos con los microservidores de dispensación en la parte frontal. La estructura también dispone de pies de nivelación.

Las baldas escogidas son de chapa pintada con epoxy y con pliegues dobles en los cuatro costados y con dos refuerzos en el sentido longitudinal, para evitar que el peso de los productos pueda hacer pandear su superficie. Las baldas disponen de perfiles de aluminio ranurado en la zona frontal y trasera para la fijación de los microservidores de dispensación y reposición.

Las canaletas separadoras de medicamentos son de aluminio y disponen de fijación frontal y trasera mediante un tornillo *Allen* de fácil acceso y tuercas especiales que son insertadas en los perfiles de aluminio fijados a las baldas. Tanto los microservidores como las canaletas, pueden deslizarse por los perfiles de aluminio de manera que se puede modificar fácilmente la anchura de los carriles en los que se insertan los productos.

Los microservidores de dispensación disponen de leds indicadores verdes en su parte frontal para mostrar claramente su estado correcto de funcionamiento. En caso de necesidad de sustitución de uno de estos equipos, el intercambio de un equipo electrónico de disparadores, es tan sencillo como desconectar el conector de datos y alimentación y sustituir el microservidor dañado por otro. Todos los cables son accesibles exteriormente y la operación se realiza en menos de un minuto.

Además de los microservidores de dispensación, en la base de la estructura también se coloca un armario rack de tamaño 6U para colocar en él las fuentes de alimentación y diferencial de cada módulo, así como un switch electrónico desarrollado a medida para la arquitectura y que permite dar comunicación Ethernet a 250 microservidores así como tensión de alimentación sobre el mismo

bus. Esto simplifica enormemente el cableado y además el diseño *plug & play* del equipo permite que en caso de avería sea fácilmente reemplazable por otro switch de mantenimiento. El switch está dotado de leds indicadores de estado que muestran al usuario la presencia correcta de las alimentaciones de las fuentes hacia los microservidores así como las comunicaciones entre ellos y el ordenador servidor.



*Figura 4.5. Switch de comunicaciones y alimentación para 250 microservidores de dispensación. La sustitución de una electrónica por otra, es tan sencillo como desconectar en orden los cables y conectarlos en un equipo nuevo.*

#### 4.1.2 Prototipo de microservidores de reposición

El reposicionamiento semiautomático de los carriles del armario en el que se ubican los dispensadores se basa en un conjunto de microservidores de reposición equipados con leds que está situado en la zona trasera de las baldas y se fija al perfil de aluminio sujeto a la balda, de forma similar a los dispensadores de dispensación. Cada microservidor de reposición está diseñado a modo de tira de leds, con una longitud de 200 mm y provisto de 20 leds con posibilidad de manejo individual de cada uno de ellos. Esto da una precisión de 1 led cada centímetro. Los leds indican mediante encendido permanente la ausencia de medicamento en el carril. Se puede

configurar un límite de vaciado de producto en el carril para que los leds indiquen con parpadeo a velocidad lenta el estado de vaciado del carril.

En función del ancho de cada carril será determinado el número de leds que van a proceder a su iluminación, siendo una cantidad variable y totalmente configurable. La configuración de los leds que afectan a cada carril reside en la memoria del propio microservidor de reposición.

Para la reposición de los productos, al escanear un medicamento con un lector de código de barras conectado al servidor o mediante un ordenador de mano tipo PDA, se ilumina la balda completa en la que se ubica el medicamento durante tres segundos, seguido de un parpadeo rápido en la ubicación específica en la que debe introducirse. En caso de avería la sustitución de un microservidor de reposición por otro es inmediato, se desatornilla del perfil de aluminio y se desconecta de los microservidores adyacentes, introduciendo uno nuevo.



*Figura 4.6. Microservidores de reposición con leds equipados en la parte trasera de las baldas para reposicionamiento semiautomático e indicación de carriles vacíos.*

#### ***4. Implementación y validación de la Arquitectura de Control Web 2.0***

---

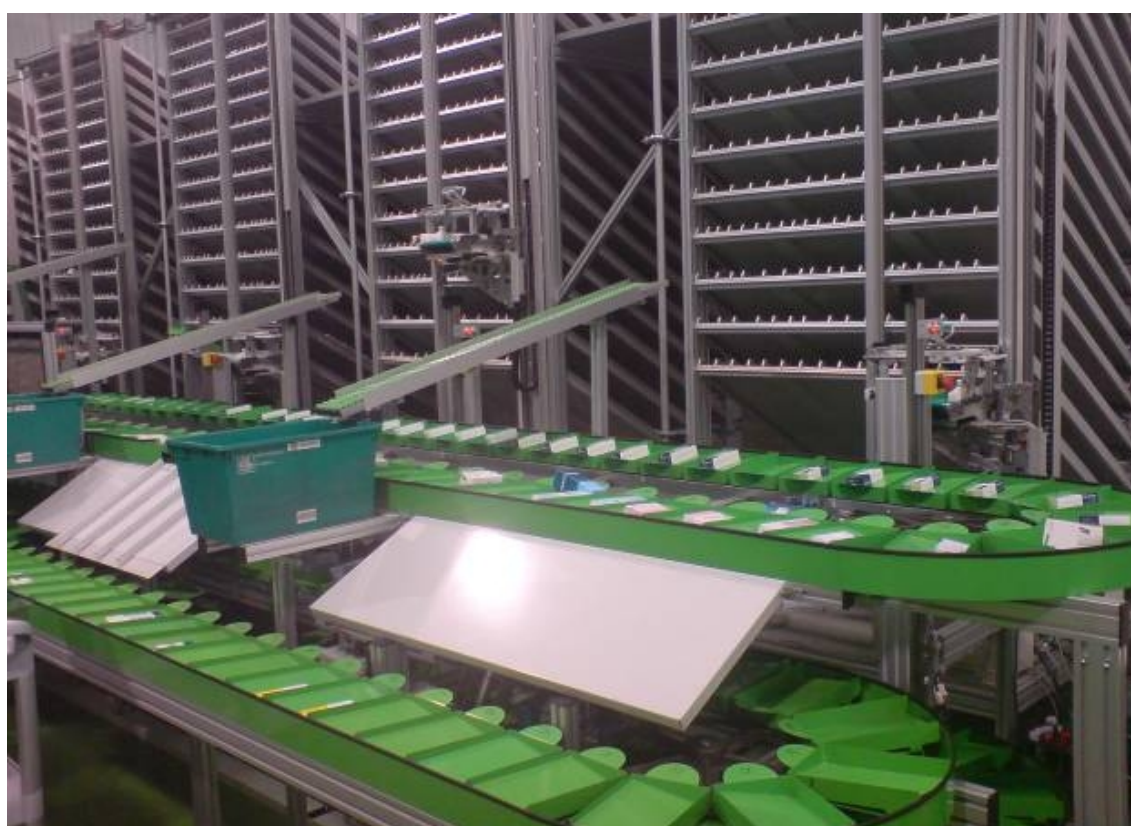
De manera similar a la conexión de los microservidores de dispensación, se ha diseñado un switch específico para proceder al envío de las comunicaciones Ethernet y la alimentación a los microservidores de reposición. Este equipo consta de un conector RJ45 para su conexión al router situado en el rack del PC servidor y conectar los microservidores al programa PHP de comunicación. Como conectores específicos se realiza la conexión de hasta 90 microservidores de reposición, el número suficiente para cubrir las necesidades de los 250 microservidores de dispensación de cada armario.



*Figura 4.7. Los leds iluminados de forma fija por los microservidores de reposición indican que el carril correspondiente está vacío de producto y requiere reposición.*

### **4.1.3 Prototipo de instalación de reposicionamiento automático**

Se ha desarrollado una instalación prototipo en base a la patente obtenida que ha sido instalada para el reposicionamiento automático de 1.000 carriles dispensadores con microservidores. El sistema de reposicionamiento automático está basado en una tecnología que permite que múltiples medicamentos, iguales o distintos sean transportados y repuestos simultáneamente en máquinas dispensadoras distintas. Es una tecnología innovadora, que en vez de utilizar una gran máquina encargada de realizar todas las tareas de transporte y reposicionamiento, emplea máquinas reponedoras locales y un sistema patentado de acumulación y transporte de medicamentos. Todos los sistemas de control están basados en microservidores.



*Figura 4.8. Instalación prototipo de reposicionamiento automático*

El procedimiento de trabajo con el sistema de reposicionamiento automático es el siguiente. Las máquinas realizan el inventario de los productos cargados en los robots en menos de tres minutos. En ese momento generan una propuesta que contiene los productos exactos que hay que introducir para que las máquinas queden totalmente cargadas. Este listado es impreso y ordenado por ubicación de reposición, de forma que puedan cogerse los productos a cargar en las máquinas rápidamente de sus ubicaciones.

#### ***4. Implementación y validación de la Arquitectura de Control Web 2.0***

---

El listado con la propuesta de reposición es utilizado por un operario que va en la búsqueda de los productos ordenados por ubicación de recogida empleando un carro. Cuando ha llenado de mercancía el carro, esto es unos 300 a 400 productos, va a la cinta de carga de medicamentos y los introduce rápidamente en el sistema. A partir de este momento, la máquina carga la mercancía empleando su sistema de acumulación y transporte y el operario puede ir a recoger otro carro lleno de mercancía mientras la máquina trabaja y acaba de colocar todos los productos. Mediante este método un único operario puede encargarse de reponer toda la instalación diariamente empleando unas horas y sin cometer ningún error de carga. Otra ventaja es el control continuo y exacto del inventario de productos en los robots.

Los medicamentos se introducen al sistema a través de una cinta transportadora de carga. Se escanea el primer medicamento y posteriormente pueden introducirse todos los medicamentos del mismo tipo detrás del primer medicamento escaneado. En la cinta transportadora de carga, pueden llegar a convivir medicamentos distintos, siempre y cuando se realice el escaneo de cada uno de ellos antes de introducirlo en la cinta.



*Figura 4.9. Vista del prototipo de reposicionamiento automático, apreciando la cinta de entrada de medicamentos hacia el sistema de acumuladores.*

La cinta transportadora de carga transfiere los medicamentos a un sistema de acumulación y transporte, el cual consiste en unas cintas transportadoras cíclicas que disponen de carros encargados de recibir los medicamentos y transportarlos hacia la máquina reponedora final. Cada carro dispuesto en un acumulador recibe un medicamento, de modo que el número de carros de cada acumulador indica el número máximo de medicamentos que puede cargar y transportar. Los acumuladores son cíclicos, no tienen principio ni fin, por lo que el sistema puede moverse libremente buscando carros vacíos en los que cargar nuevos productos y carros libres en niveles inferiores en los que descargarlos.

El sistema de acumulación tiene tres niveles. En el primer nivel se sitúa el acumulador principal, encargado de recibir los medicamentos de la cinta de carga y transportarlo a un acumulador de nivel secundario. El acumulador principal desarrollado en el prototipo puede disponer de 98 carros para cargar 98 medicamentos simultáneamente. El acumulador secundario se coloca detrás de cada dos máquinas y dispone de 48 carros. Hay dos acumuladores secundarios, uno para cada dos máquinas dispensadoras de las cuatro que componen la instalación descrita.

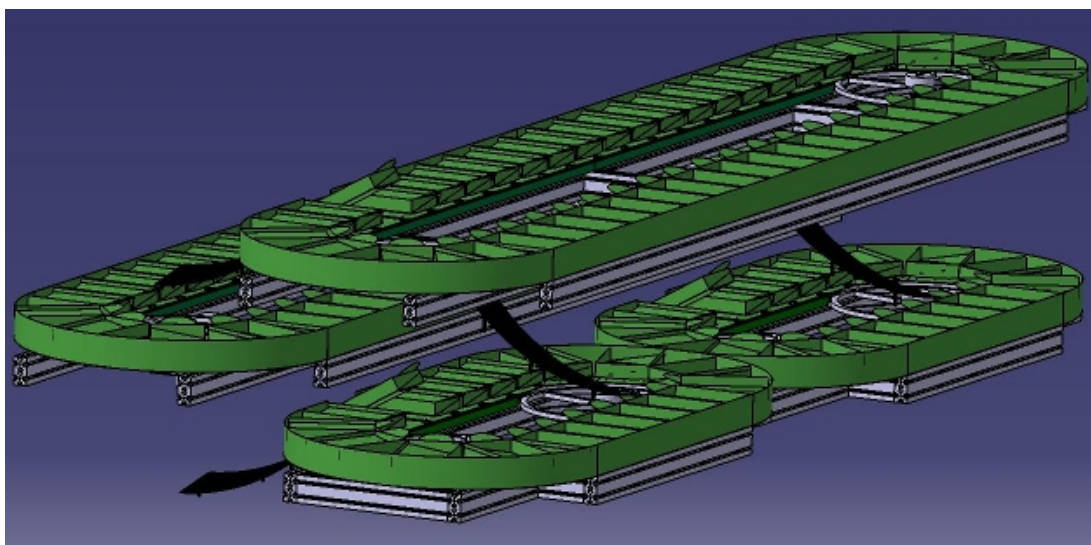
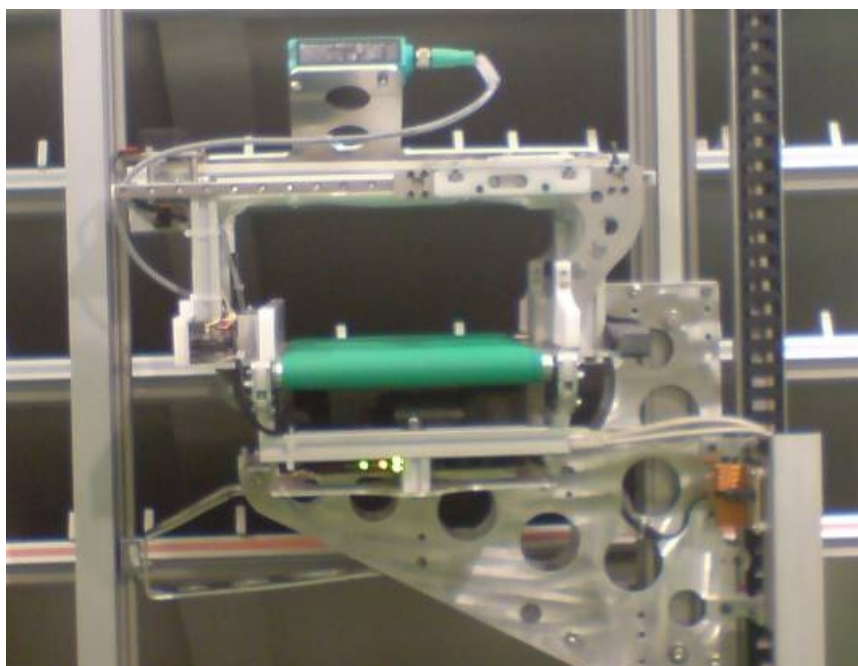


Figura 4.10. Diseño 3D del sistema de acumulación y transporte patentado.

Finalmente, existe un último acumulador local con 20 carros que está colocado detrás de cada máquina reponedora. De este acumulador final se descarga el producto al manipulador encargado de la carga del producto en el carril. Esta máquina dispone de una bandeja de reposicionamiento que se encarga de medir el producto y rotarlo si es necesario, con el fin de que se introduzca en la posición óptima en la ubicación a reponer. Tras validar la medida del medicamento y su posición, la máquina se desplaza hasta la ubicación de descarga, midiendo la

profundidad del carril y actualizando en tiempo real el stock de producto presente en la balda. En caso de que el producto pueda ser introducido se carga, y en caso de que el carril esté lleno o no haya hueco suficiente, el medicamento es expulsado hacia una zona de recuperación de medicamentos situada en la misma zona de carga de productos, de manera que el operario puede recibirlos cómodamente.

Una característica a destacar de este sistema, consiste en que gracias al láser equipado en las máquinas reponedoras, el sistema realiza un control de inventario automático todos los días a una hora, o varias horas programadas. Gracias a este control de inventario, se sabe exactamente la mercancía presente en los robots, así como la mercancía que es necesaria reponer para cargar al máximo los módulos. Este inventario también puede ser forzado desde la consola de aplicación, que consiste en una aplicación Web accesible a través de una pantalla táctil.



*Figura 4.11. Manipulador de carga, capaz de medir el medicamento para comprobar su validez, rotarlo en caso necesario y medir con un laser el número de medicamentos cargados por carril.*

Para coger la mercancía a reponer en las máquinas, se genera una propuesta de reposición en la que la mercancía a recoger aparece ubicada en orden de ubicación. De este modo, resulta rápido coger la mercancía e ir con ella al puesto de carga para introducirla. El proceso ideal consiste en emplear un carro con el que llenar unos 300 productos e introducirlos posteriormente en el sistema de reposicionamiento. Mientras la máquina repone toda la mercancía, el operario recorre otra zona del almacén en busca de los siguientes productos a reponer hasta completar el proceso. Mediante este sistema, un único operario puede encargarse de la reposición de los

1.000 carriles automáticos empleando una hora diaria y con la ventaja de no cometer errores de reposición y tener el inventario totalmente controlado.

#### 4.1.4 Equipos Auxiliares

Para poder realizar la experimentación completa de la Arquitectura de Control Web 2.0, además de los microservidores dispensadores y reponedores es necesario disponer de ciertos equipos auxiliares que son fundamentales para completar el proceso y así poder obtener resultados medibles. Estos equipos son la cinta transportadora encargada de la recogida de los productos, el camino de rodillos sincronizado con la cinta para el movimiento automático de las cajas con los pedidos asociados y el PC servidor con la base de datos y routers necesarios para las comunicaciones con todos los componentes de la arquitectura y programas software ERP de la empresa.



*Figura 4.12. Switch con alimentación para los microservidores de reposición, con capacidad de manejo de hasta 90 microservidores de reposición.*

Las cintas transportadoras son las encargadas de recoger los productos que son dispensados por los microservidores dispensadores y transportarlos hacia la zona

#### ***4. Implementación y validación de la Arquitectura de Control Web 2.0***

---

de recogida de mercancía, en la que se coloca la cubeta con cada pedido sobre el camino de rodillos. El sistema se ha diseñado en base a dos cintas transportadoras, siendo una de ellas horizontal, colocada a 400 mm de altura del suelo debajo de los dispensadores, y una segunda cinta inclinada y dispuesta con cangilones para la elevación de los medicamentos dispensados hacia una tolva que produce su caída al interior de la caja contenedora. La velocidad de ambas cintas está sincronizada y es de 90 m/min (1,5 m/s).

Mediante la cinta cangilona inclinada, cuya función es recoger la mercancía desde la cinta horizontal y subirla hacia la zona de expulsión donde se encuentra la cubeta, la base del camino de rodillos que transporta las cubetas se encuentra a unos 600 mm del suelo, siendo una posición cómoda y ergonómica para el trabajo con las cubetas.



*Figura 4.13. Cintas transportadoras horizontal e inclinada para la recogida de los productos desde los microservidores de dispensación hasta el punto de entrega en la caja.*

Las cintas transportadoras son muy rápidas y ha sido necesario proveer a la instalación de un módulo arrancador de motores de alterna en rampa. Ambas cintas están equipadas con un sensor encóder en el rodillo de retorno de la cinta que es utilizado para medir el avance de las cintas en todo momento pudiendo sincronizar los disparos de los microservisores con la llegada del espacio destinado para completar cada uno de los pedidos.

Como se ha explicado en el desarrollo del algoritmo de control, es fundamental la sincronización de la preparación de los pedidos en la cinta transportadora encargada de la recogida de los productos con la llegada de los pedidos a la tolva de entrega, con el objetivo de que puedan convivir simultáneamente sobre la misma cinta transportadora varios pedidos.



*Figura 4.14. Camino de rodillos para movimiento de cubetas hacia cinta de dispensación y desviador para cubetas con errores durante la preparación del pedido.*

Por esta razón ha sido necesario implementar un circuito básico de camino de rodillos automático cuyo control sea realizado desde la Arquitectura de Control Web 2.0 y así realizar el proceso integral de preparación de varios pedidos de forma simultánea. El camino de rodillos desarrollado se caracteriza por un funcionamiento sectorizado, de manera que sólo se ponen en marcha los rodillos cuando tienen una cubeta que mover encima, y estando detenidos el resto del tiempo. Esto reduce considerablemente el mantenimiento de la instalación y su consumo eléctrico. El camino de rodillos está dividido en zonas de 700 mm de longitud independientes, que pueden ser encendidas o apagadas de forma autónoma para conseguir el movimiento deseado de las cubetas. Toda la electrónica de control del camino de rodillos así como los sensores y lectores de códigos de barras se encuentran integrados en el chasis del camino de rodillos y la electrónica de control son dispositivos microservidores.

##### ***4.1.5 Ordenador servidor y periféricos informáticos***

La instalación necesaria para la puesta en marcha de la Arquitectura de Control Web 2.0 se completa con un armario rack en el que se introduce un PC servidor, con el software desarrollado que permite interconectar el software cliente (ERP) con el software de los microservidores de dispensación y reposición. El ordenador debe disponer en el armario rack de un switch de comunicaciones Ethernet de tipo industrial, para crear redes de comunicación Ethernet con todos los microservidores distribuidos en la instalación. El PC servidor también dispone de una conexión remota VPN para funciones de mantenimiento, telecontrol y acceso remoto a datos históricos, necesario para ir realizando el estudio de funcionalidad del sistema.

La instalación informática incluye lectores de código de barras industriales que son conectados al PC servidor y utilizados para leer el código de barras de los albaranes e iniciar el proceso de dispensación y de los códigos de barras de las cubetas que viajan automáticamente por el circuito de rodillos hacia la cinta transportadora en la que lanzan los medicamentos los microservidores. Este lector también puede ser utilizado para iniciar el proceso de reposicionamiento asistido por leds.

El software Web publicado por el PC servidor facilita el empleo de aplicaciones en dispositivos portátiles, como PDA's. Por este motivo, la instalación informática se completa con dispositivos PDA que son utilizados para los procesos de reposición y carga de los carriles, que a su vez está asistido por el encendido de los leds de los microservidores de reposicionamiento, que los usuarios emplean conjuntamente con la PDA.

A continuación se muestran imágenes 3D de diseños de instalaciones realizados con la Arquitectura de Control Web 2.0 para el sector farmacéutico.

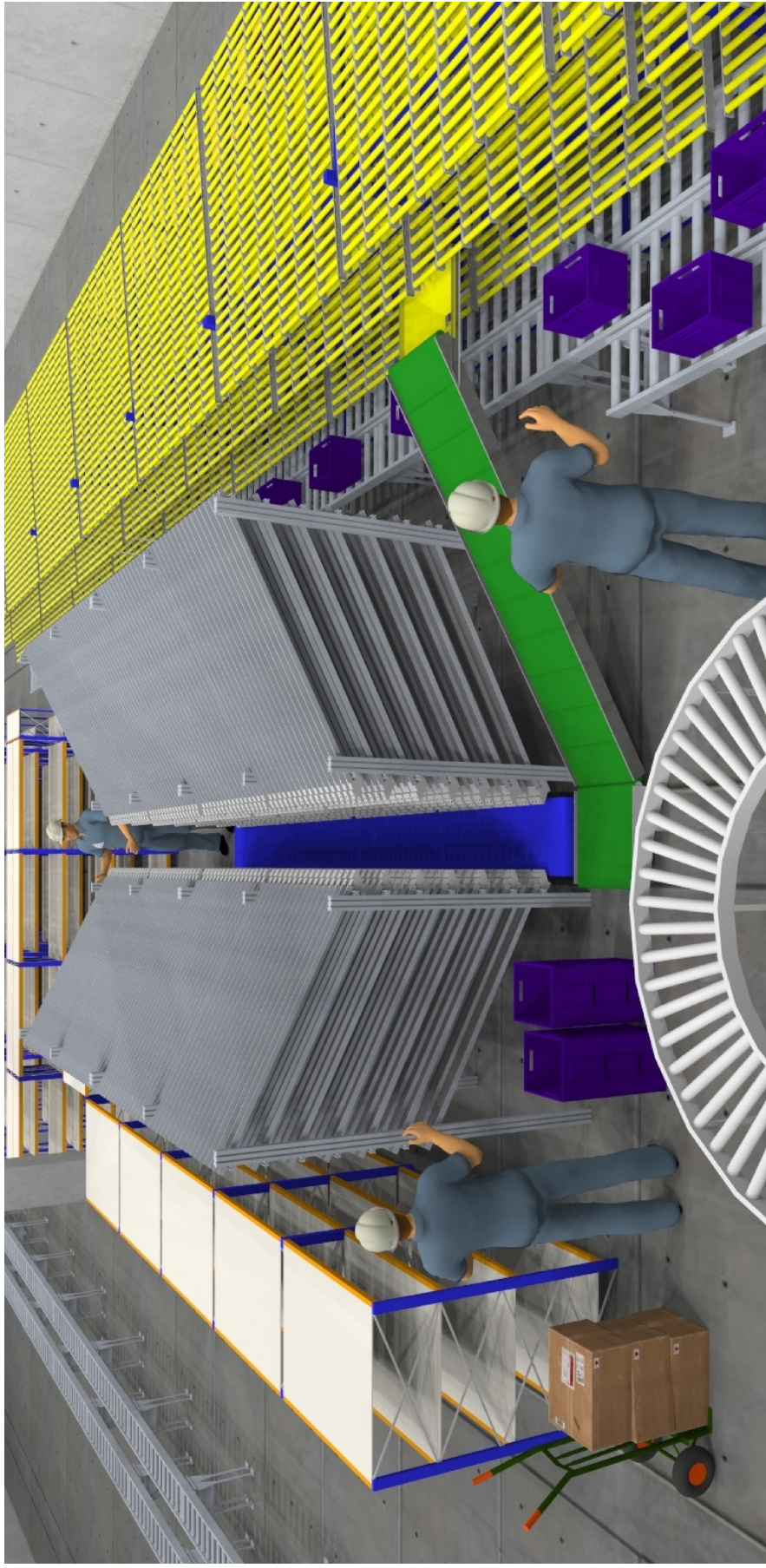


Figura 4.15. Ejemplo de instalación en perspectiva 3D de la instalación para almacenes de distribución farmacéutica.

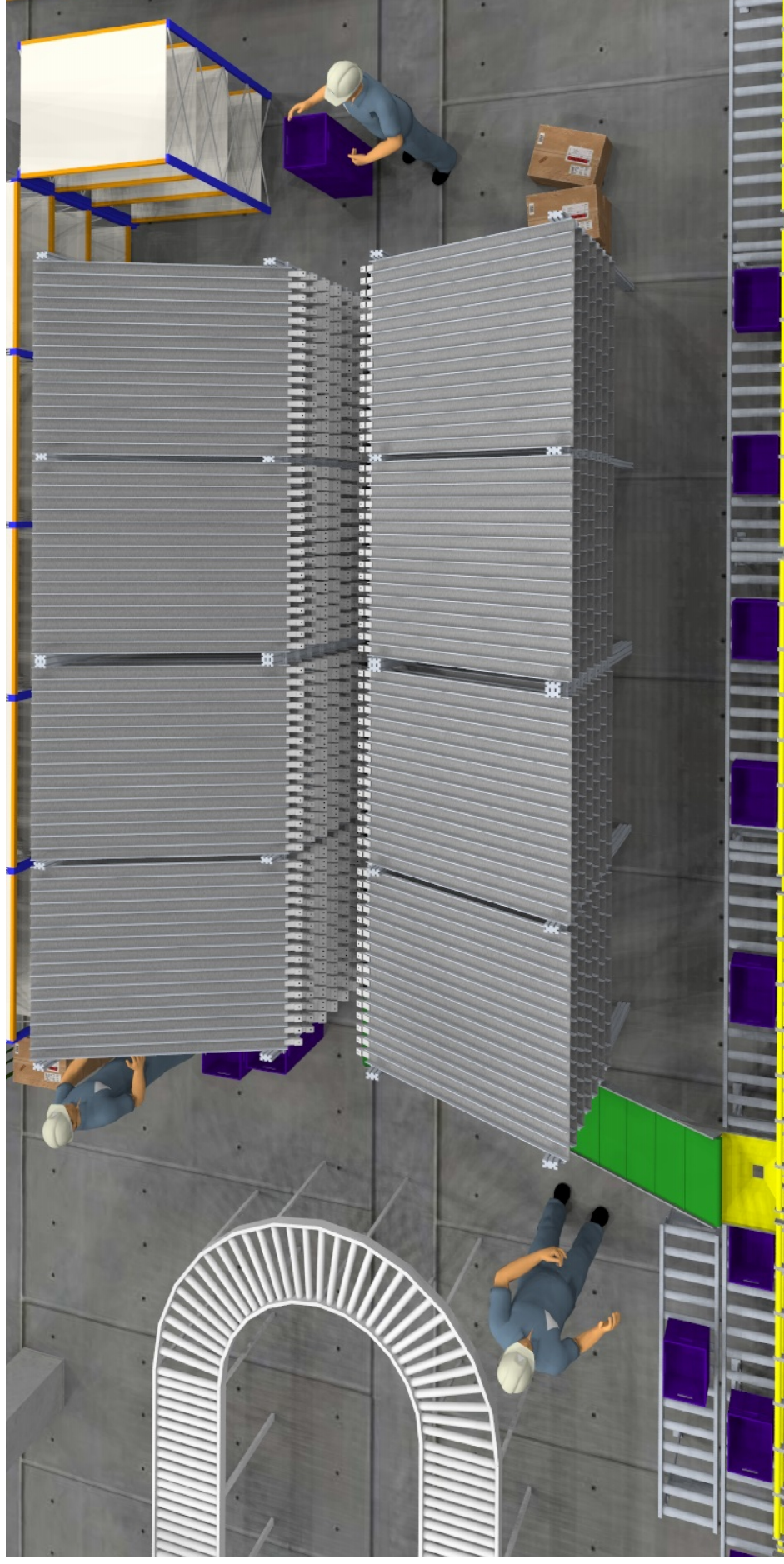


Figura 4.16. Vista 3D en planta de la instalación del sistema para almacenes de distribución farmacéutica.



Figura 4.17. Diseño 3D del sistema adaptado en dimensiones para farmacias y con cerramiento translúcido.

### **4.2 Desarrollo software SCADA**

En este apartado, previo a la presentación de la toma de datos, se presenta el entorno Web 2.0 desarrollado a modo de SCADA para establecer el marco de trabajo software con el que ha interactuado el usuario durante la evaluación de la tecnología. El SCADA Web 2.0 ha sido desarrollado íntegramente en lenguaje de programación PHP.

Para el desarrollo del SCADA el primer paso consiste en implementar la base de datos MySQL en base al diseño conceptual presentado en el apartado de desarrollo teórico. La base de datos no sólo contempla los campos específicos para los procesos de preparación y reposición de artículos, sino que se han añadido tablas específicas para la gestión de datos históricos y análisis de resultados.

La base de datos es introducida en el PC servidor, instalando la herramienta XAMPP que incluye un servidor para la base de datos y Apache. La base de datos debe crearse de mutuo acuerdo con el Departamento Informático de la empresa en el que se realiza la instalación, debido a que es fundamental la sincronización con el programa informático ERP y para ello las tablas y campos de la base de datos deben ser accesibles para el ERP y contener la información consensuada para el intercambio de información.

Se ha protegido la base de datos mediante contraseñas y se ha encriptado la información. Todas las noches un procedimiento de respaldo automático realiza una copia de todo el contenido de la base de datos a modo de copia de seguridad, dado que este elemento informático es el que contiene todos los parámetros de funcionamiento y configuración de la línea.

El operario nunca maneja directamente la base de datos para realizar las labores de configuración o consulta de la instalación, sino que emplea el programa SCADA con los distintos niveles de acceso en función de los usuarios. A través del SCADA es posible ajustar fácilmente la configuración de los medicamentos en los carriles, así como la potencia de disparo de cada dispositivo u otros parámetros como el tiempo entre disparos. Todo ello se realiza a través de una aplicación denominada consola accesible desde entorno Web.

El SCADA Web 2.0 permite manejar los datos de las tablas de la base de datos de una forma controlada, ya que si el manejo se realiza directamente a través del interfaz puro de la base de datos, como lo es la aplicación *phpmyadmin* de MySQL, un error por parte de un operario puede provocar el borrado de datos fundamentales para el funcionamiento del sistema y generar un problema grave en la instalación.

## 4.2. Desarrollo software SCADA

The figure displays three screenshots of the phpMyAdmin interface, showing the database structure for three tables: 'cubeta\_albaran', 'cubeta', and 'lin\_cubeta'. Each screenshot includes a sidebar with a file tree and a main table structure view with columns for 'Campo', 'Tipo', 'Cotejamiento', 'Atributos', 'Nulo', 'Predeterminado', 'Extra', and 'Acción'.

**Table: cubeta\_albaran**

Campo	Tipo	Cotejamiento	Atributos	Nulo	Predeterminado	Extra	Acción
<input type="checkbox"/>	COD_BARRAS	varchar(20)	latin1_swedish_ci		No	Ninguna	
<input type="checkbox"/>	MUELLE	int(1)		No	Ninguna		
<input type="checkbox"/>	COD_ALBARAN	varchar(20)	latin1_swedish_ci		No	Ninguna	
<input type="checkbox"/>	SINCRONIZADO	tinyint(1)		No	Ninguna		
<input type="checkbox"/>	ESTACION	tinyint(11)		No	Ninguna		
<input type="checkbox"/>	LANZADO	int(11)		No	Ninguna		
<input type="checkbox"/>	FECHA	timestamp		No	CURRENT_TIMESTAMP		
<input type="checkbox"/>	CONTROL_CALIDAD	int(11)		No	Ninguna		
<input type="checkbox"/>	COD_CLIENTE	varchar(10)	latin1_swedish_ci		No	Ninguna	
<input type="checkbox"/>	MANUAL	tinyint(1)		No	Ninguna		
<input type="checkbox"/>	ROUTA	int(2)		No	Ninguna		

**Table: cubeta**

Campo	Tipo	Cotejamiento	
<input type="checkbox"/>	COD_CUBETA	varchar(30)	latin1_swedish_ci
<input type="checkbox"/>	COD_PEDIDO	varchar(20)	latin1_swedish_ci
<input type="checkbox"/>	ESTADO	enum('VACIO','EN PROCESO','POSICIONADA','SERVIDA','ERROR','FRENADA','DISPENSANDO','MANTENIMIENTO','PREPOSICIONADA')	latin1_swedish_ci
<input type="checkbox"/>	ERROR	varchar(50)	latin1_swedish_ci
<input type="checkbox"/>	FECHAHORA	timestamp	
<input type="checkbox"/>	COD_BARRAS	varchar(20)	latin1_swedish_ci
<input type="checkbox"/>	CONTROL_ERRORES	int(11)	
<input type="checkbox"/>	CINTA	int(5)	
<input type="checkbox"/>	CONTROL_IMPRESION	int(4)	
<input type="checkbox"/>	CARRIL	int(11)	
<input type="checkbox"/>	COD_CLIENTE	varchar(10)	latin1_swedish_ci
<input type="checkbox"/>	CONTROL_MANTENIMIENTO	int(1)	
<input type="checkbox"/>	POSICIONADO	int(11)	
<input type="checkbox"/>	TEMPORIZACION	int(11)	

**Table: lin\_cubeta**

Campo	Tipo	Cotejamiento	Atributos	Nulo	Predeterminado	Extra	Acción
<input type="checkbox"/>	COD_CUBETA	varchar(30)	latin1_swedish_ci	No	Ninguna		
<input type="checkbox"/>	COD_PRODUCTO	varchar(20)	latin1_swedish_ci	No	Ninguna		
<input type="checkbox"/>	COD_UBICACION	varchar(20)	latin1_swedish_ci	No	Ninguna		
<input type="checkbox"/>	CANTIDAD	int(11)		No	Ninguna		
<input type="checkbox"/>	ESTADO	enum('LISTA','EN PROCESO','COMPLETADO','ERROR','ERROR TIEMPO','ERROR UBICACION','ERROR COMUNICACION','ERROR RESPUESTA','AVERIADO','ERROR CANTIDAD','ERROR ATASCADO','ERROR DISPENSACION','ERROR REVISION')	latin1_swedish_ci	No	Ninguna		
<input type="checkbox"/>	NOTIFICADO	tinyint(1)		No	Ninguna		
<input type="checkbox"/>	ID_ERROR	varchar(30)	latin1_swedish_ci	No	Ninguna		
<input type="checkbox"/>	PEDIDO	int(4)		No	Ninguna		
<input type="checkbox"/>	T_MAX_SENSOR	int(11)		No	Ninguna		
<input type="checkbox"/>	T_MIN_SENSOR	int(11)		No	Ninguna		
<input type="checkbox"/>	TIPO_DISPARADOR	int(11)		No	Ninguna		
<input type="checkbox"/>	FECHA	timestamp		No	CURRENT_TIMESTAMP		
<input type="checkbox"/>	ORIGEN	varchar(20)	latin1_swedish_ci	No	Ninguna		

Figura 4.18. Diseño de la base de datos MySQL para el desarrollo de los prototipos.

#### 4. Implementación y validación de la Arquitectura de Control Web 2.0

El acceso al sistema se realiza mediante un control de usuarios. En función del usuario es posible acceder a distintos niveles. Por ejemplo, solo el jefe de almacén puede realizar asignaciones de nuevos productos a los carriles dispensadores.

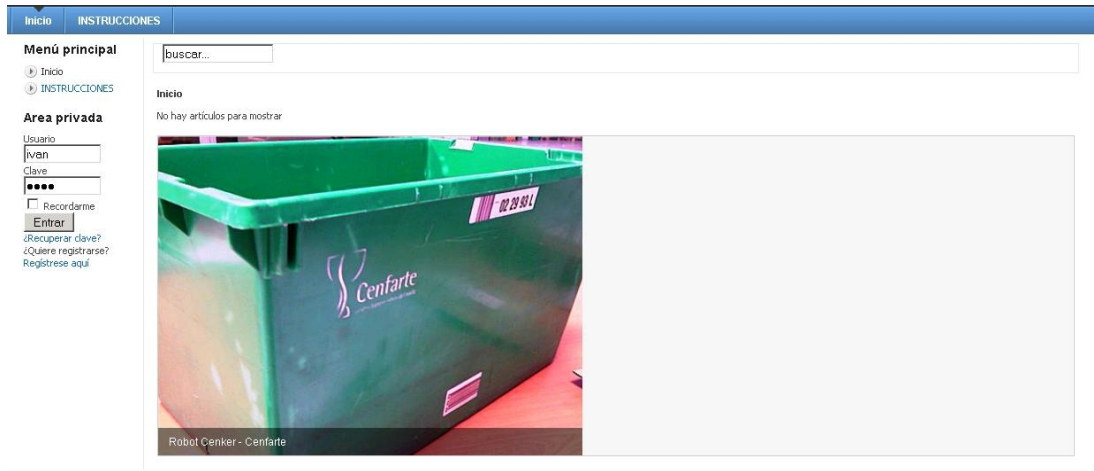


Figura 4.19. Acceso por usuarios a través de la página del SCADA Web 2.0.

La Web que muestra la tabla maestra de ubicaciones es el entorno a través del cual se realiza toda la configuración tanto de los microservidores de dispensación como de reposición. Hay que configurar tanto el producto que va en el carril con sus características físicas, como los parámetros de control para su correcta dispensación y encendido de los leds.

	Cod. Nacional	TEST	Descripcion	Armario	Balda	Fila	Origen	Ancho	Largo	Existencias	Cdad. Maxima	LED Inicio	LED Fin	Estado	Potencia	I. Disparo	I. Bobina
Editar	672087	672087	OFTALMOLOSA DEXAMETASONA	0	3	7	34D-06-1	34	90	0	15	62	67	LISTO	70	40	8
Editar	660481	660481	HEMOAL POMADA RECTAL 30 G	1	6	6		0	127	0	15	41	45	LISTO	55	40	6
Editar	660793	660793	GLICLAZIDA MYLAN 30 MG EFG 60 COMP LIBERACION MODIFICADA	1	6	7	R1-06-07	0	0	0	15	46	52	LISTO	80	40	12
Editar	765644	765644	OPATANOL COLIRIO 5 ML	1	6	12		28	70	0	15	84	90	LISTO	70	40	4
Editar	847483	847483	ELIDEL 1% CREMA 30 G	1	6	13		0	0	0	15	91	95	LISTO	75	40	15
Editar	654286	654286	DALACIN 300 24 CAP	1	6	14		0	95	0	15	96	102	LISTO	80	40	15
Editar	677575	677575	ZADITEN MONODOSIS	1	6	16		0	97	0	15	110	120	LISTO	90	40	6

Figura 4.20. La tabla ubicaciones se emplea para la configuración de microservidores.

The screenshot shows a web-based interface for product management. On the left is a navigation menu with options like 'Inicio', 'INSTRUCCIONES', 'Menú principal', 'Menú usuario', 'CONFIGURACION', 'PEDIDOS', 'RUTAS / CARRIL', 'CLIENTES', 'CLIENTES x RUTA', 'PRODUCTOS', 'UBICACIONES', 'CUBETAS', and 'ERRORES'. The main area is titled 'PRODUCTOS' and contains a search bar, several action buttons (Búsqueda avanzada, Exportar resultados, Impresora versión amigable, Imprimir todas las páginas), and a table of products. The table has columns for 'COD\_PRODUCTO', 'DESCRIPCION', 'ALTO', 'LARGO', 'ANCHO', 'PESO', 'CODIGO BARRAS', and 'EXISTENCIAS'. Below the table are more action buttons: 'Añadir nuevo', 'Borrar articulos seleccionados', 'Exportar seleccionados', and 'Imprimir seleccionados'. At the bottom, there is a pagination control showing '[ 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 ] Siguiete : Último' and a '[Volver]' button.

		<input type="checkbox"/>	COD_PRODUCTO	DESCRIPCION	ALTO	LARGO	ANCHO	PESO	CODIGO BARRAS	EXISTENCIAS
Editar	Copiar	<input type="checkbox"/>	000202	ALCOHOL SANITARIO 96° 1 L	95,00	225,00	95,00	0,00		3
Editar	Copiar	<input type="checkbox"/>	000221	BYLY FARMA DEO ROLL-ON DUPLO	80,00	270,00	80,00	0,00	000221	3
Editar	Copiar	<input type="checkbox"/>	000222	BYLY FARMA DEO CREMA DUPLO	80,00	270,00	80,00	0,00	000222	3
Editar	Copiar	<input type="checkbox"/>	000825	MIRACLAR EXPOSITOR 30 UNID	840,00	2.400,00	840,00	0,00	847000008252	3
Editar	Copiar	<input type="checkbox"/>	000830	ARTHURUM HCS 3 JERINGAS	20,00	205,00	110,00	0,00		3
Editar	Copiar	<input type="checkbox"/>	000921	00000 AA- Cambio escala REPO	0,00	0,00	0,00	0,00	000921	3
Editar	Copiar	<input type="checkbox"/>	001020	EXPOSITOR EXCITE 12 CEPILLOS Y6 RECAMBIOS	40,00	260,00	54,00	0,00		3
Editar	Copiar	<input type="checkbox"/>	001021	PHB PLUS MEDIO DUPLO	20,00	210,00	40,00	0,00	8437002591373	3
Editar	Copiar	<input type="checkbox"/>	001022	PHB PLUS SUAVE DUPLO	20,00	210,00	40,00	0,00	8437002591366	3
Editar	Copiar	<input type="checkbox"/>	001163	CONTROL SEX SENSES GEL MASAJE 50 ML	32,00	118,00	32,00	0,00		3

Figura 4.21. La tabla producto se sincroniza en tiempo real con el ERP y contiene el maestro de productos de la empresa con todos sus parámetros.

Desde el propio SCADA se puede tener acceso al maestro de productos del ERP, ya que ambos programas emplean la plataforma MySQL para almacenar y compartir dicha información sincronizada. En este menú pueden consultarse los productos con sus propiedades físicas, códigos nacionales y códigos de barras. A través de opciones de exportación, el SCADA facilita la extracción de datos resumen en Excel o CSV, así como realizar impresiones en formato de listados filtrados.

El sistema de ordenamiento de las tablas puede ser realizado por uno o varios parámetros simultáneamente, siendo una propiedad disponible para todas las páginas del SCADA, aprovechando características del entorno Web en el que se ha desarrollado, y resulta muy útil dadas las decenas de miles de artículos de los que constan estas tablas.

El tamaño del texto y formatos también cumplen con las normas de accesibilidad establecidas para las páginas Web y su tamaño es fácilmente adaptable de manera que cada usuario puede ajustar las pantallas a su gusto. Los parámetros de configuración escogidos por cada usuario son almacenados por el sistema, de forma que cuando un usuario entra en la aplicación Web se carga automáticamente la configuración de accesibilidad configurada para dicho usuario..

#### 4. Implementación y validación de la Arquitectura de Control Web 2.0

**Menú principal**

Inicio INSTRUCCIONES

**Menú usuario**

- CONFIGURACION
- PEDIDOS
- RUTAS / CARRIL
- CLIENTES
- CLIENTES x RUTA
- PRODUCTOS
- UBICACIONES
- CUBETAS
- ERRORES

Buscar...

Inicio CUBETAS

**CUBETAS**

	COD CUBETA	COD PEDIDO	ESTADO	ERROR	FECHAHORA	COD BARRAS	CONTROL ERRORES	CINTA	CONTROL IMPRESION
<input type="checkbox"/>	Lin Cubeta Hist(6)	A00049820131		ERROR	05/01/2015	080912	0	1	0
<input type="checkbox"/>	Lin Cubeta Hist(1)	A00076560138	SERVIDA		05/01/2015	005684	0	1	0
<input type="checkbox"/>	Lin Cubeta Hist(49)	A00077960167		ERROR	05/01/2015	022170	0	1	0
<input type="checkbox"/>	Lin Cubeta Hist(1)	A00078000177	SERVIDA		05/01/2015	007154	0	1	0
<input type="checkbox"/>	Lin Cubeta Hist(1)	A00078010184	SERVIDA		05/01/2015	083500	0	1	0
<input type="checkbox"/>	Lin Cubeta Hist(1)							1	0
<input type="checkbox"/>	Lin Cubeta Hist(6)							1	0
<input type="checkbox"/>	Lin Cubeta Hist(33)							1	0
<input type="checkbox"/>	Lin Cubeta Hist(1)							1	0
<input type="checkbox"/>	Lin Cubeta Hist(20)							1	0
<input type="checkbox"/>	Lin Cubeta	A00079140115		ERROR	05/01/2015	083500	0	1	0

[Volver]

Lin Cubeta Hist  
Detalles encontrados: 6.

COD CUBETA	COD PRODUCTO	COD UBICACION	CANTIDAD	ESTADO	NOTIFICADO	ID ERROR	PEDIDO
A00078490163	654140	40127	1	ERROR	0		1
A00078490163	672633	41109	1	ERROR	0		1
A00078490163	723973	2990	0	COMPLETADO	0		1
A00078490163	965970	3771	0	COMPLETADO	0		1
A00078490163	997817	3727	0	COMPLETADO	0		1
A00078490163	999458	3505	0	COMPLETADO	0		1

Figura 4.22. Los pedidos, cubetas, líneas preparadas y la trazabilidad es gestionada en tiempo real por el SCADA.

Referente al propio proceso de preparación de los pedidos, el sistema tiene páginas específicas para poder controlar el número de cubetas y pedidos que están siendo preparados, dando el SCADA acceso tanto a datos en tiempo real como datos históricos. La programación se ha realizado con ventanas emergentes para facilitar las consultas a tantos registros de información, de manera que ubicando el ratón encima de ciertas casillas de la pantalla, puede accederse por ejemplo al contenido interno de cada una de las cubetas que están siendo visualizadas, así como el estado de cada línea que ha sido preparada, por ejemplo con faltas de producto o totalmente completadas.

El SCADA gestiona esta información de manera eficiente para la impresión de informes tanto en formato PDF como en papel, dado que es muy habitual tener que listar canales que se quedan vacíos para realizar rápidas reposiciones o controlar las cubetas diarias para facilitar dicha información a los conductores de cada ruta.

En este sentido, se han extendido algunas funcionalidades del SCADA para que también faciliten al usuario la visualización de procesos complementarios al proceso de dispensación, como el reparto de cubetas entre las distintas rutas que son realizadas por los transportistas, los clientes asociados a cada una de dichas rutas o el estado de completitud de cada una de las rutas. De este modo, con un mismo entorno Web de fácil uso para el usuario puede gestionar de forma integral todos los procesos de distribución del almacén, desde la recepción de pedidos por parte

de clientes, hasta su separación en cubetas, preparación y distribución y carga en rutas.

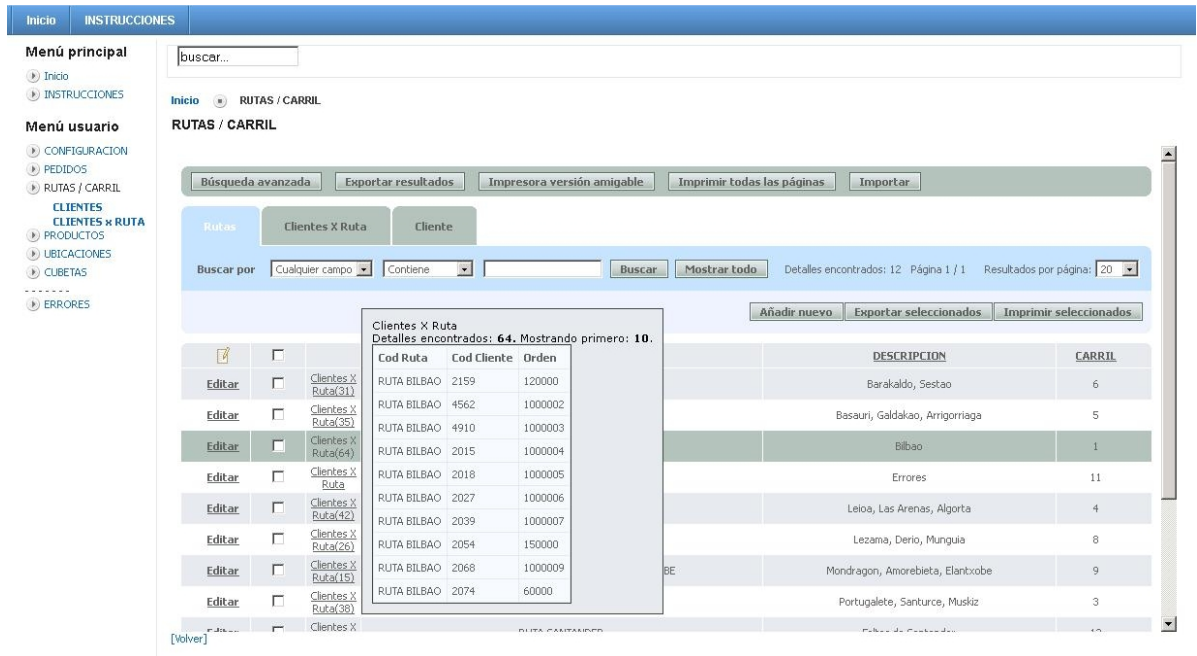


Figura 4.23. La gestión de rutas es un proceso complementario a la preparación de pedidos que también permite gestionar de forma integral el SCADA.

También se ha considerado programar en el SCADA un sistema de filtros y de sencillas consultas que ayuden a las tareas de mantenimiento, como la generación de datos estadísticos para comprobar el grado de eficiencia diario del sistema, conociendo los posibles carriles con problemas de configuración o de carga.

Estos datos estadísticos están pensados para el jefe de mantenimiento y también para el jefe de almacén, dado que si aparecen productos con un alto nivel de falta en los pedidos, pueden requerir configuración en modo multicanal, lo cual está contemplado con un algoritmo eficiente en la Arquitectura de Control Web 2.0. Durante el transcurso del año las ventas de los medicamentos pueden ir variando, por ejemplo en los meses de verano ciertos productos para la piel aumentan de forma notable sus ventas. Gracias al sistema de estadísticos e informes automáticos se facilita al usuario la identificación de los productos con cambio de tendencia en su rotación, permitiendo un ajuste del número de carriles asignados a cada producto de manera continua, lo que resulta fundamental para tener la instalación en su óptimo estado de funcionamiento.

#### 4. Implementación y validación de la Arquitectura de Control Web 2.0

The screenshot shows the 'ESTADISTICAS DIA' (Daily Statistics) page. It features a search bar at the top, a navigation menu on the left, and a table of product statistics. The table includes columns for product code, description, location (armario, balda, fila), origin, error counts, and total quantities.

Código	Descripcion	Armario	Balda	Fila	Origen	Error Cenker Cantidad	Error Cenker Otros	Error Humano	Pedido de 5	Total Cantidad Pedida	Total Numero Pedidos
347765	BEPANTHOL POMADA PROTECTORA 30 G	8	6	10	RP-01C3D-2	0	0	0	0	1	1
353651	BIE 3 CONTROL PESO 25 SOBRES	4	1	16		0	0	0	0	1	1
650099	NOCTAMID 1 MG 30 COMP	2	3	13		0	0	0	0	1	1
650427	ACETILCISTEINA CINFA 200 MG EFG 30 SOBRES	6	3	16	RP-00B8D-1	0	0	1	0	2	1
650545	INEGY 10/20 MG 28 COMP	6	13	5	RP-02C8D-2	0	0	0	0	1	1
650590	XERISTAR 30 MG 28 CAP	5	10	4	RP-01A4D-4	0	0	0	0	1	1
651465	SECALIP 145 MG COMP RECUBIERTOS	2	4	7		0	0	0	0	2	1
651605	PAROXETINA CINFA 20 MG EFG S6 COMP	2	4	15		0	0	0	0	1	1
652340	RAMPRIIL SANDOZ EFG 5 MG 28 COMP	4	5	15		0	0	1	0	3	1
652848	TAMSULOSINA CINFA 0,4 MG EFG 30 CAP	4	10	1		0	0	0	0	1	1

Figura 4.24. La generación automática de estadísticas ayuda a los procesos de compra de mercancía, ya que su acceso es directo vía Web con el Departamento de Compras.

The screenshot shows the 'MANTENIMIENTO' (Maintenance) page. It features a search bar at the top, a navigation menu on the left, and a table of maintenance items. The table includes columns for product code, description, location (armario, balda, fila), dimensions (ancho, largo, alto), and control metrics.

COD UBICACION	COD PRODUCTO	DESCRIPCION	ARMARIO	BALDA	FILA	ANCHO	LARGO	ALTO	COMENTARIO REPO	MANTEN REPO	CONTROL MEDIDA
1306	651443	PAZITAL 37,5 MG 20 COMP	7	11	9	63	80	10		0	850
779	241000	XHEKPON CREMA 40 ML	5	4	1	50	142	0		56	509
949	767491	OMEPRAZOL STADA 20 MG EFG 28CAP	6	2	7	66	90	0		20	485
5095	687517	PECTOX LISINA 20 SOBRES	5	1	8	90	115	0		0	478
1499	653790	RINOBANEDIF PDA 10 G	8	11	12	45	124	0		0	429
976	656845	YODOCEFOL 28 COMP	6	4	8	67	97	32		28	407
1254	663682	SECALIP SUPRA 160 MG 30 COMP	7	8	7	59	90	0		0	407
1233	655905	PARACETAMOL KERN PHARMA 650 MG 40 COMP	7	7	2	55	94	0		0	374
953	000999	00000 AA--Cambio a	6	2	11	86	120	0		39	330

Figura 4.25. La generación automática de informes de mantenimiento guía a los operarios para la revisión y ajuste de la instalación.

La industria farmacéutica maneja cantidades de decenas de miles de referencias, que además al tener que controlar lotes distintos y poder convivir en las instalaciones distintos lotes para mismos artículos hace que sea muy difícil el control y gestión de las ubicaciones simplemente mediante listados en pantalla o papel, que es la única herramienta disponible por los operarios con los programas del estado del arte.

Aprovechando las características de visualización gráfica que acompañan a las propiedades de un software SCADA, se ha desarrollado un entorno gráfico que permite visualizar de forma sencilla el estado de los carriles de cada módulo de la instalación, que dado que consta de miles de carriles y su optimización es un parámetro clave para la eficiencia del funcionamiento del almacén, debe ser supervisado en todo momento por los responsables.

Los almacenes de distribución farmacéutica disponen de una alta rotación de productos en función de la temporada del año o en función de la aparición de nuevos fármacos. Esto implica que sea necesario reconfigurar los carriles de forma continua, para conseguir tener siempre el mejor grado de aprovechamiento de los carriles automáticos. Otra problemática frecuente es el cambio de formato de las cajas que realizan los laboratorios farmacéuticos para los mismos medicamentos, que al cambiar las dimensiones de las mismas provoca que haya que reconfigurar los carriles en los que se encuentran cargados los productos.

Se han desarrollado unas visualizaciones gráficas para cada módulo que muestran con cinco colores diferentes el estado de cada carril, de forma que puede visualizarse fácilmente que carriles están vacíos, que productos tienen muy baja rotación (para pasar a manual e introducir otros productos), productos con cantidad de dispensación adecuada al stock y productos que requieren ser reforzados con multicanales debidos a su alta venta. Con una marca en cada casilla del visualizador gráfico también se puede apreciar fácilmente los productos que son multicanales. Ubicando el ratón encima de cada casilla se muestra una ventana emergente con características detalladas de cada producto, así como un botón de test que sirve para provocar una dispensación automática de cinco unidades de producto y de este modo comprobar la configuración del carril y su correcto funcionamiento.

El proceso de reposicionamiento de los carriles es una actividad que se realiza de forma simultánea e independiente al proceso de dispensación. El SCADA dispone de su propio entorno para realizar estos procesos y se ha optimizado las pantallas Web para que pueda ser utilizado fácilmente en el PC o en un dispositivo móvil tipo PDA. El sistema permite el escaneo del código de barras de un artículo para indicar automáticamente mediante la iluminación de los leds en las baldas la ubicación en la que se debe introducir.

#### 4. Implementación y validación de la Arquitectura de Control Web 2.0

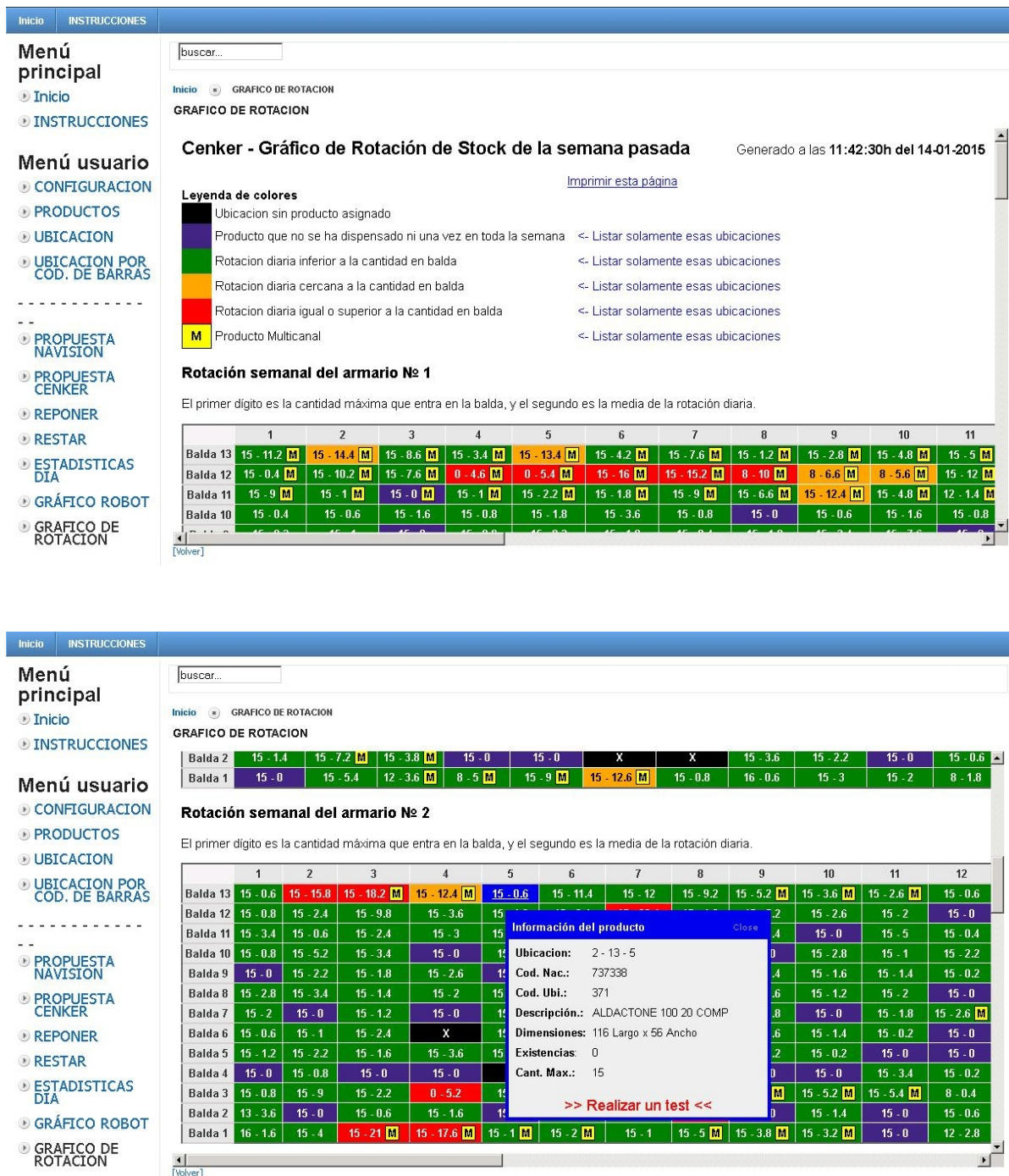


Figura 4.26. Los gráficos de rotación de las máquinas obtenidos directamente de los microservidores ayudan a la optimización de los carriles y a la gestión general del almacén.

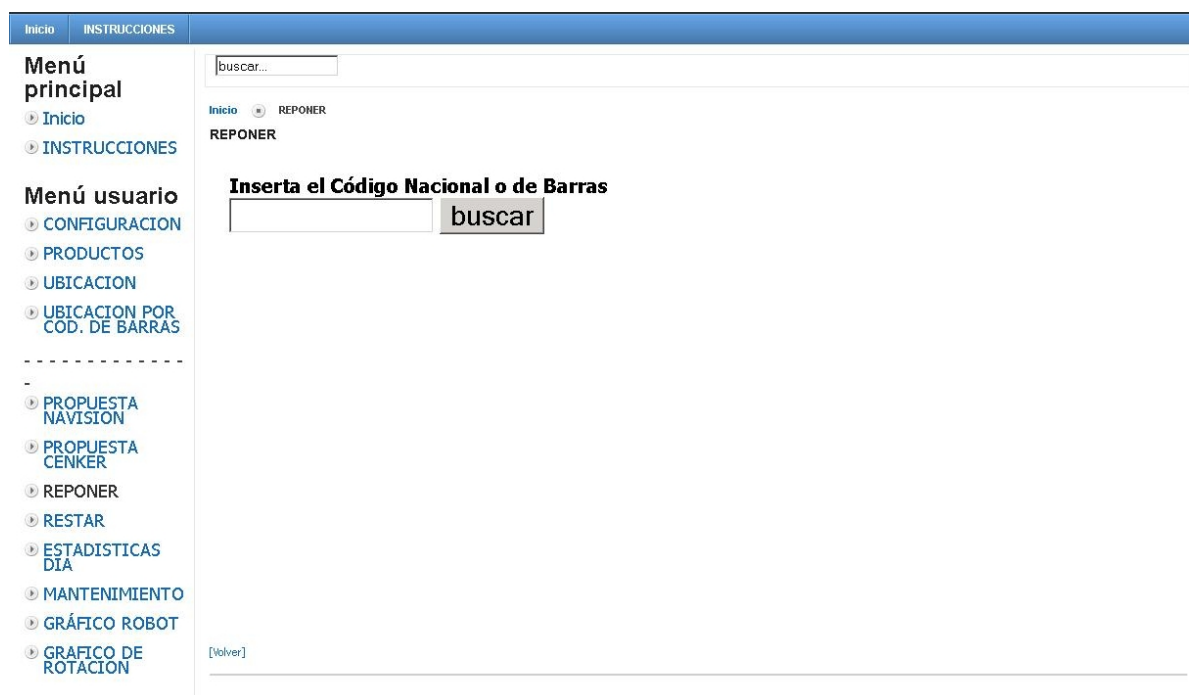


Figura 4.27. El reposicionamiento dispone de su propio entorno específico en el SCADA, el proceso se inicia escaneando el código de barras del producto a reponer.

Para que el proceso de dispensación se ejecute correctamente es fundamental que la reposición de los carriles esté correctamente realizada. Para facilitar esta labor, el SCADA genera un informe denominado “propuesta” en el que se indica al operario el orden de prioridad de los carriles que se deben reponer. Se han desarrollado dos tipos de propuestas, una es directamente generada por los microservidores en función de su nivel de llenado, y otra es generada contrastando los datos de stock de productos directamente con el ERP del almacén, para no generar esfuerzos inútiles de reposición a los operarios por falta de mercancía.

En la Fig. 4.28 se muestra un ejemplo de la visualización gráfica del estado de los carriles de los microservidores para la ayuda a la reposición. En color negro se muestran los carriles que están disponibles para asignar nuevos productos o bien reforzar con multicanales otros productos ya existentes. En color amarillo se muestran los productos que tienen un nivel de vaciado medio y que es conveniente reponer. En color rojo los carriles vacíos, que a su vez dispondrán de los leds de los microservidores de reposición encendidos. En color verde se muestran los carriles cuyo stock es adecuado para el proceso de preparación de pedidos que hay que realizar en el día. El stock real de productos de cada carril es consultado a cada microservidor y mostrado en el recuadro correspondiente a cada carril.

#### 4. Implementación y validación de la Arquitectura de Control Web 2.0



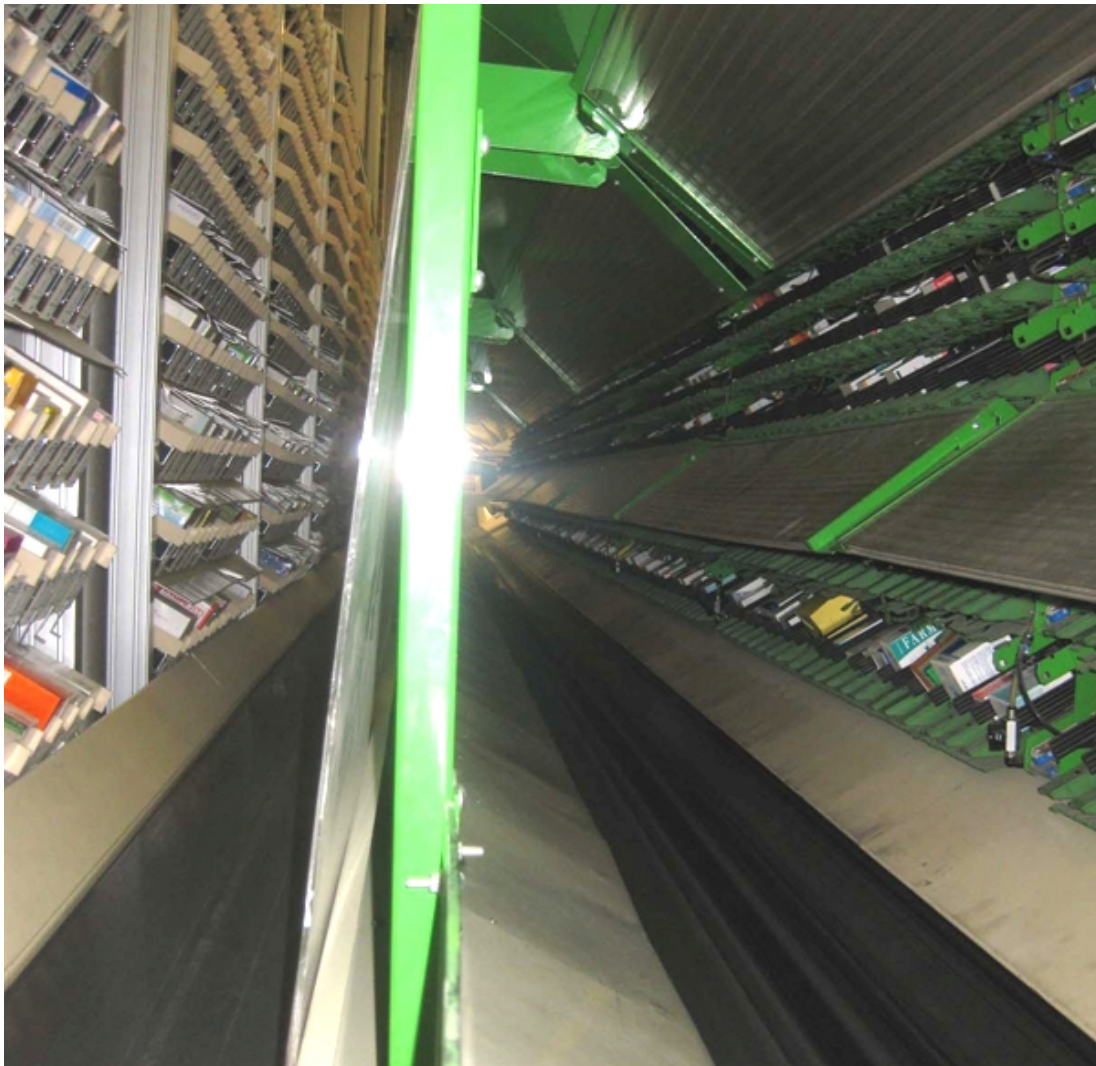
Figura 4.28. La visualización gráfica de los carriles de los módulos de dispensación mediante colores y con datos simplificados o ampliados facilita el trabajo de reconfiguración y ajuste de las máquinas.

### 4.3 Toma de datos

Tras completar las instalaciones piloto con la Arquitectura de Control Web 2.0 en empresas de distribución farmacéutica se ha procedido a la toma de datos y análisis comparativo con los datos tomados de las líneas de automatización correspondientes al estado del arte actual. Se ha tenido la posibilidad de contrastar el funcionamiento de las líneas de dispensación basadas en la arquitectura con microservidores con las líneas de dispensación basadas en sistemas tradicionales e incluso en una misma planta industrial y funcionando al mismo tiempo. Por esta razón, se han podido comparar de forma fiable las funcionalidades de ambos sistemas.

En la Fig. 4.29 se muestra la primera instalación piloto de la Arquitectura Web 2.0 en la que se aprecia en la parte izquierda los dispensadores basados en microservidores y en la parte derecha los dispensadores neumáticos del fabricante SSI-Schäfer. Las dos líneas están en paralelo, disponiendo cada una de ellas de su cinta transportadora independiente en la que realizar el lanzamiento de los productos para su llenado en las cubetas de preparación de pedidos. El hecho de que las líneas se encuentren en paralelo facilita al máximo la observación del proceso de preparación de pedidos de ambos sistemas y ayuda para la toma de datos y proceso comparativo. Cada estación prepara simultáneamente una parte de

cada pedido de forma independiente, ya que los medicamentos cargados en cada uno de los sistemas son referencias distintas.



*Figura 4.29. Línea de dispensadores con Arquitectura de Control Web 2.0 (izquierda) y línea con solución clásica (derecha), funcionando en paralelo en la preparación de pedidos y usado como escenario para la evaluación y toma de datos comparativos.*

Desde la puesta en marcha de las instalaciones piloto, se ha generado a través del ordenador servidor de la instalación una recogida de datos con históricos que son almacenados en las tablas MySQL destinadas a dicho efecto para su posterior análisis. Para facilitar el tratamiento del alto volumen de información que es generada diariamente por la línea, se ha generado un módulo en el SCADA que realiza un tratamiento de los datos y los envía automáticamente por email de forma diaria. Este email contiene los datos estadísticos de funcionamiento de la línea y es de gran ayuda para las labores de mantenimiento y ajuste de la instalación. Los

apartados en los que se divide la información agrupada en este email automático son:

- **Albaranes:** se muestra la fecha de los albaranes generados en la estadística, que en esta caso se ha tratado de forma diaria, así como el sumatorio total de las líneas de pedido que suman la totalidad de los albaranes del día.
- **Unidades:** se realiza el sumatorio de todas las unidades de las líneas de albaranes que se deben preparar así como un resumen estadístico de las unidades dispensadas automáticamente y aquellas que han requerido intervención por los operarios.
- **Motivo del error en unidades:** se desglosa el motivo del fallo en la preparación automática de las unidades que no fueron preparadas. Los fallos pueden ser vaciado del carril, mala asignación del código del producto a la ubicación, exceso de unidades pedidas o fallo del sistema. El exceso de unidades pedidas se refiere a un límite software pensado para evitar el rápido vaciado de los carriles cuando el pedido lleva más unidades solicitadas que el parámetro límite configurado para dicho carril. El fallo del sistema es detectado por los sensores del microservidor de dispensación que comprueba que el producto no ha salido correctamente del canal.
- **Cubetas:** a modo de productividad es importante el análisis del resultado del proceso a nivel de cubetas, que es la unidad con la que operan los trabajadores en el almacén y en la que se introducen los pedidos. El número de cubetas completadas serán aquellas en las que todo el proceso se ha completado de forma automática sin la intervención de ninguna persona.
- **Motivo del error en la cubeta:** de forma similar al análisis del error en las unidades se muestra a nivel de cubeta la razón por la que no fue completamente terminada, existiendo los campos vaciado del carril, fallo de ubicación, exceso de pedido o fallo del sistema automático.

Estos datos resumidos que son enviados por el SCADA de forma automática por email a los responsables de la planta son complementados con datos específicos acerca de los productos que pudieron causar un fallo por cualquiera de los motivos anteriormente descritos. Esta información concreta es utilizada por los responsables para solucionar de forma concisa el problema que tuvo cada medicamento en la instalación. En las Tablas 4-1 y 4-2 se muestran ejemplos de emails automático que son enviados por el sistema de forma diaria y de forma semanal. Los emails automáticos han sido utilizados para la recogida exhaustiva de datos conforme la metodología de la tesis que requiere evaluar los resultados para poder contrastar la validez de las hipótesis planteadas. Toda la información estadística se ha tratado en una base de datos MySQL para su análisis y obtención de conclusiones.

Tabla 4-1. Email diario enviado por el SCADA a los responsables de la línea para recogida y análisis de datos.

**Email Diario - Estadísticas de la instalación**

Fecha	Albaranes		Unidades				Motivo del error en las Unidades				Cubetas				Motivo del error en la Cubeta			
	Líneas de albarán	A dispensar	Dispensado	No dispensado	Falta producto	Fallo ubicación	Exceso pedido	Fallo Robot	Generadas	Completas al 100%	A error	Falta producto	Fallo ubicación	Exceso pedido	Fallo Robot			
2014-02-17	2142	3130	3110 (99.36 %)	20 (0.64 %)	17 (0.54 %)	(0 %)	3 (0.1 %)	170	161 (94.71 %) Media 17.62 productos	9 (5.29 %) Media 32.56 productos	8 (4.71 %)	0 (0 %)	0 (0 %)	1 (0.59 %)				

**Detalle de las ubicaciones con 'Fallo de Robot' (para su revisión por parte del personal del Robot)**

Fecha	Armario	Balda	Fila	CN	Descripción	Nº Pedidos fallados	Nº Unidades no dispensadas
2014-02-17	5	8	5	817437	ZANIDIP 20 MG 28 COMP	1	3

**Detalle de las ubicaciones con 'Falta de producto' (para su revisión por el responsable del almacén)**

Fecha	Armario	Balda	Fila	CN	Descripción	Nº Pedidos fallados	Nº Unidades no dispensadas
2014-02-17	2	11	10	884742	OLMETEC 40 MG 28 COMP	1	1
2014-02-17	4	2	7	660433	EUCREAS 50 / 850 MG 60 COMP	3	7
2014-02-17	5	12	9	672011	SUMIAL 40 50 COMP	1	2
2014-02-17	7	12	6	652854	TORASEMIDA NORMON 10 MG EFG 30 COMP	1	1
2014-02-17	8	4	1	712398	ATENOLOL ALTER 50 MG EFG 60 COMP	1	1
2014-02-17	8	10	5	779561	LEXATIN 6 20 CAP	1	5

#### 4. Implementación y validación de la Arquitectura de Control Web 2.0

Tabla 4-2. Email semanal enviado por el SCADA a los responsables de la línea para recogida y análisis de datos.

##### Email Semanal - Estadísticas agrupadas de la instalación

##### Errores del robot agrupados por ubicación

Listado ordenado por el número de veces que ha fallado el robot en cada ubicación (de mayor a menor). Se muestran las ubicaciones que han fallado al menos dos días.

Armarío	Balda	Fila	CN	Descripción	Nº Pedidos fallados	Nº Unidades no dispensadas	Días que ha fallado
5	6	14	666335	INVEGA 9 MG 28 COMP	2	2	21-02-2014 2 veces
6	6	12	673261	OMEPRAZOL BEXAL 20 MG EFG 28 C	2	2	18-02-2014 1 vez 21-02-2014 1 vez
<b>Errores por falta de producto agrupados por ubicación</b>							
Listado ordenado por el número de veces que se ha producido falta de producto en el robot (de mayor a menor). Se muestran los productos que han fallado al menos dos días.							
Armarío	Balda	Fila	CN	Descripción	Nº Pedidos fallados	Nº Unidades no dispensadas	Días que ha fallado
1	2	7	887844	EMEPROTON 28 CAP	3	3	18-02-2014 3 veces
3	6	7	000999	00000 AA-.Cambio a escala NP07	3	5	20-02-2014 3 veces
3	10	4	654760	SINEMET PLUS 100 COMP	3	4	20-02-2014 2 veces 21-02-2014 1 vez
4	2	7	660433	EUCREAS 50 / 850 MG 60 COMP	3	7	17-02-2014 3 veces
8	10	12	827279	VESICARE 5 MG 30 COMP	3	5	18-02-2014 3 veces
4	1	7	770370	ALGIDOL 20 SOBRES	2	5	18-02-2014 2 veces
4	13	7	734533	ESERTIA 20 MG 28 COMP	2	2	20-02-2014 2 veces
7	12	6	652854	TORASEMIDA NORMON 10 MG EFG 30 COMP	2	2	19-02-2014 1 vez 17-02-2014 1 vez

De forma complementaria al email de estadísticas diarias enviado por el SCADA, el sistema envía todos los domingos un email a modo de resumen estadístico semanal, en la que se pueden apreciar los productos que han podido ser responsables de fallos continuos en la instalación, como es mostrado en la Tabla 4-2. Este email es de gran ayuda durante los procesos de arranque y ajuste de la línea, ya que sirve para filtrar el gran volumen de información que es generado de forma diaria en las bases de datos y que complica mucho la extracción de resultados y de información precisa a transmitir a los responsables de la línea para que procedan a su mejora.

Para la evaluación completa de la arquitectura, los datos estadísticos de funcionalidad de la Arquitectura de Control Web 2.0 se han complementado con el análisis del funcionamiento de una línea de automatización del mismo número de referencias pero con el sistema de control convencional. Se trata de una instalación de 1.000 referencias automatizadas, de formato en balda inclinada, con varios autómatas de control y actuadores neumáticos para el proceso de dispensación. En la Tabla 4-3 se muestra una comparativa de aspectos tecnológicos que han sido analizados, conforme la definición de retos tecnológicos del Apartado 2.8 del estado del arte de la tesis. En las Tablas 4-4 y 4-5 se recogen la comparativa realizada respecto a eficacia y eficiencia de la línea respectivamente.

Los datos tecnológicos se refieren al tipo de arquitectura, tipo de bus de comunicación, programa SCADA y tecnología de la base de datos. Como se ha identificado en la presentación del estado del arte y posterior desarrollo teórico de la presente tesis doctoral, la principal diferencia se basa en la descentralización total del control llevada a cabo por la Arquitectura de Control Web 2.0, el uso de un único sistema de comunicación en todos los niveles y las herramientas software libres, basadas en los entornos Web.

De los distintos datos recogidos en la comparativa y mostrados en las siguientes tablas, se destacan con fondo más oscuro aquellos parámetros más representativos de las virtudes de la tecnología basada en la Arquitectura de Control Web 2.0 respecto a las soluciones del estado del arte actual. Se ha tomado como referencia del estado del arte una instalación de SSI-SCHÄFER, por ser líder mundial en este tipo de automatizaciones de almacenes farmacéuticos. Tras la presentación de los datos de esta tabla, se realiza posteriormente en el Apartado 4.4 un análisis detallado de cada uno de los parámetros evaluados y presentados de forma resumida en las siguientes tablas.

El proceso de recogida de datos se ha realizado durante 3 meses, tanto en almacenes de distribución como oficinas de farmacia, con presencia diaria en dichas instalaciones, toma de datos automática a través de emails, cronometrado de tiempos de preparación, mediciones en campo de consumos y niveles de ruido con instrumentación específica y análisis de resultados globales diarios del ERP.

#### 4. Implementación y validación de la Arquitectura de Control Web 2.0

Tabla 4-3. Resumen comparativo de tecnologías, Arquitectura de Control Web 2.0 frente solución clásica aplicado a almacenes farmacéuticos.

Arquitectura y Tecnología	Arquitectura de Control Web 2.0	Solución Clásica de Automatización
1. Tipo de arquitectura	<i>Descentralizada (microservidores)</i>	<i>Centralizada (autómatas industriales)</i>
2. Bus de comunicación	<i>Ethernet Industrial</i>	<i>Profibus (propietario)</i>
3. Tipo de SCADA	<i>Aplicación Web 2.0 libre</i>	<i>Aplicación de escritorio propietaria</i>
4. Base de datos	<i>MySQL</i>	<i>Oracle (propietario)</i>
5. Telemantenimiento	<i>Sí, nativo</i>	<i>Sí, opcional</i>
6. Control remoto	<i>Sí, nativo</i>	<i>Sí, opcional</i>

Tabla 4-4. Resumen comparativo de eficacia, Arquitectura de Control Web 2.0 frente solución clásica aplicado a almacenes farmacéuticos.

Parámetro de Eficacia	Arquitectura de Control Web 2.0	Solución Clásica de Automatización
7. Velocidad de dispensación	<i>179,9 líneas/minuto</i>	<i>174,8 líneas/minuto</i>
8. Velocidad preparación de pedidos	<i>13,5 pedidos/min</i>	<i>12,1 pedidos/min</i>
9. Tasa de errores por carril vacío	<i>0,57 %</i>	<i>1,25 %</i>
10. Tasa de errores por atasco del carril	<i>0,1 %</i>	<i>0,1 %</i>
11. Horas de reposición	<i>4 horas / día (1h30 / día con sistema automático)</i>	<i>7 horas / día</i>
12. Tasa de errores de reposición	<i>0,05 %</i>	<i>0,2 %</i>
13. Tiempo de reposición carril vacío	<i>2 minutos</i>	<i>8 minutos</i>

Tabla 4-5. Resumen comparativo de eficiencia, Arquitectura de Control Web 2.0 frente solución clásica aplicado a almacenes farmacéuticos.

<b>Parámetro de Eficaciencia</b>	<b>Arquitectura de Control Web 2.0</b>	<b>Solución Clásica de Automatización</b>
14. Horas de mantenimiento semanal	<i>2 horas / semana</i>	<i>4 horas / semana</i>
15. Capacidad media de los carriles	<i>18 – 22 productos</i>	<i>35 – 40 productos</i>
16. Consumo eléctrico	<i>60 W</i>	<i>12.200 W</i>
17. Tiempo de instalación	<i>2 semanas</i>	<i>2 meses</i>
18. Tiempo de ajuste y pruebas	<i>1 semana</i>	<i>1 mes</i>
19. Coste económico instalación	<i>Bajo (a partir de 100.000 euros)</i>	<i>Alto (a partir de 600.000 euros)</i>
20. Coste económico mantenimiento	<i>Bajo</i>	<i>Alto</i>

La instalación de la tecnología de la Arquitectura de Control Web 2.0 aplicado a la farmacia presenta igualmente diferencias y ventajas competitivas respecto a las soluciones que tradicionalmente se están aplicando en este entorno. Como solución clásica de referencia se ha tomado una instalación ROWA por ser el mayor proveedor de robótica para oficinas de farmacia del mercado.

Para la evaluación en el entorno de la farmacia, se ha desarrollado un prototipo modular de 220 referencias que ha sido igualmente instalado en condiciones de funcionamiento reales para proceder a la comparativa de los resultados. Los datos recogidos para el entorno de la oficina de farmacia se encuentran en la Tabla 4-6.

El prototipo desarrollado para la oficina de farmacia dispone de la misma tecnología que la empleada en el almacén, pero se instala en un chasis más reducido y ligero, tanto que incluso es transportable mediante ruedas, facilitando al máximo el proceso de instalación en la farmacia para proceder a la toma de datos y evaluación de su funcionamiento. En la Fig. 4.30 se muestra este prototipo en su presentación en la sala de juntas de un importante centro de distribución.

#### 4. Implementación y validación de la Arquitectura de Control Web 2.0

Tabla 4-6. Resumen comparativo, Arquitectura de Control Web 2.0 frente solución clásica aplicado a las oficinas de farmacia.

Parámetro de control en Farmacias	Arquitectura de Control Web 2.0	Solución Clásica de Automatización
1. Tipo de arquitectura	<i>Descentralizada (microservidores)</i>	<i>Centralizada (brazo manipulador)</i>
2. Velocidad de dispensación	<i>40 líneas/minuto</i>	<i>15 líneas/minuto</i>
3. Velocidad preparación de pedidos	<i>8 pedidos/minuto</i>	<i>2 pedidos/minuto</i>
4. Capacidad de almacenamiento (considerando misma superficie ocupada)	<i>1.000 unidades</i>	<i>800 unidades</i>
5. Tiempo de reposición diario	<i>2 horas</i>	<i>30 minutos</i>
6. Modularidad	<i>Sí, ampliable</i>	<i>No, máquina cerrada</i>
7. Consumo eléctrico	<i>40 W</i>	<i>4.000 W</i>
8. Tiempo de instalación	<i>1 semana</i>	<i>2 a 4 semanas</i>
9. Nivel de ruido	<i>Bajo (15 dB).</i>	<i>Medio - Alto (entre 55 y 75 dB).</i>
10. Coste económico	<i>Bajo (desde 30.000 euros)</i>	<i>Alto (a partir de 120.000 euros)</i>
11. Coste mantenimiento	<i>Bajo</i>	<i>Medio</i>

En el siguiente apartado de la tesis, se procede a un análisis detallado de todos los parámetros evaluados en las distintas comparativas entre la solución clásica y la nueva Arquitectura de Control Web 2.0 aplicada a la logística del sector farmacéutico en base a los parámetros comparativos presentados en las tablas de este apartado. Se presentan nuevos datos específicos de algunos de los parámetros analizados, así como análisis cualitativos de ciertos aspectos funcionales. También se han recogido datos a través de cuestionarios para conocer la opinión de los usuarios finales de la nueva tecnología.



*Figura 4.30. Módulo adaptado para oficina de farmacia y sobre el que se ha realizado la toma de datos*

### **4.4 Análisis de los Datos**

A continuación se presenta el análisis de los datos realizado e incluyendo datos estadísticos adicionales para los parámetros cuantitativos.

#### **4.4.1 Velocidad de dispensación**

La velocidad de dispensación se ha mostrado ligeramente superior en la Arquitectura de Control Web 2.0 debido al modo de ejecución de los disparos sobre los carriles en el escenario de almacenes. En la arquitectura clásica la activación de las electroválvulas que activa el mecanismo de expulsión para los distintos productos de un mismo pedido se realiza de forma secuencial, y hasta que no finaliza la secuencia unitaria de las primeras activaciones no se inicia un nuevo ciclo de disparo para aquellos canales que requieran más de una unidad en dicho pedido. Este comportamiento corresponde con la lógica del ciclo de scan de los sistemas basados en autómatas industriales como se ha explicado en el Apartado 2.2.1.2. del Capítulo 2 de la tesis.

Con la solución basada en microservidores se realiza la carga inicial del pedido en cada dispositivo y a partir de ese instante se produce la activación de los canales de forma independiente y el tiempo entre disparos en el mismo carril depende únicamente de las dimensiones físicas del producto y por lo tanto su necesidad de tiempo para ser extraído.

Esta ventaja en la velocidad de activación de los carriles se muestra más evidente para los pedidos con un gran número de productos y especialmente para aquellos que solicitan bastantes unidades de una misma referencia. Para los pedidos con pocas unidades o muchas referencias unitarias, la velocidad de dispensación de ambos sistemas es similar.

Sin embargo, en la oficina de farmacia la velocidad de dispensación es muy superior, debido a que el robot manipulador clásico utilizado en las farmacias realiza la recogida de los productos a nivel unitario, mientras que con la Arquitectura de Control Web 2.0 todos los productos son dispensados de forma simultánea.

A continuación se muestran en la Tabla 4-7 los datos recogidos durante tres meses de forma comparativa por ambos sistemas en una instalación con 1.000 unidades automatizadas con cada una de las dos soluciones. Se resalta en color verde los resultados mejores para cada característica comparativa entre ambas arquitecturas.

Tabla 4-7. Comparativa de la velocidad de dispensación de ambos sistemas.

Velocidad de dispensación	Arquitectura de Control Web 2.0	Solución Clásica de Automatización
17 - 2 - 2014	182 líneas / minuto 251 unidades / minuto	176 líneas / minuto 238 unidades / minuto
24 - 2 - 2014	152 líneas / minuto 204 unidades / minuto	155 líneas / minuto 210 unidades / minuto
3 - 3 - 2014	161 líneas / minuto 232 unidades / minuto	155 líneas / minuto 212 unidades / minuto
10 - 3 - 2014	175 líneas / minuto 239 unidades / minuto	170 líneas / minuto 230 unidades / minuto
17 - 3 - 2014	192 líneas / minuto 265 unidades / minuto	185 líneas / minuto 252 unidades / minuto
24 - 3 - 2014	210 líneas / minuto 285 unidades / minuto	202 líneas / minuto 277 unidades / minuto
31 - 3 - 2014	183 líneas / minuto 262 unidades / minuto	175 líneas / minuto 251 unidades / minuto
7 - 4 - 2014	175 líneas / minuto 252 unidades / minuto	177 líneas / minuto 250 unidades / minuto
14 - 4 - 2014	205 líneas / minuto 274 unidades / minuto	195 líneas / minuto 260 unidades / minuto
21 - 4 - 2014	164 líneas / minuto 221 unidades / minuto	158 líneas / minuto 211 unidades / minuto

#### 4.4.2 Velocidad de preparación de pedidos

La velocidad de preparación de pedidos se muestra algo superior en la solución con microservidores aplicada a los almacenes, debido fundamentalmente a dos razones:

- La primera es la propia velocidad de dispensación explicada en el anterior apartado, y que es superior en la Arquitectura de Control Web 2.0.
- La segunda es el mejor aprovechamiento del espacio disponible en la cinta transportadora para la preparación de cada pedido, resultado de un proceso de dispensación más eficiente. La distancia media entre pedidos en la cinta

#### 4. Implementación y validación de la Arquitectura de Control Web 2.0

---

transportadora se sitúa en 4 metros en la solución clásica y esta se reduce de media un 10% en la solución con microservidores. En la Tabla 4-8 se presentan datos estadísticos ampliados de las dos soluciones. Se resalta en color verde los resultados mejores para cada característica comparativa entre ambas arquitecturas.

Tabla 4-8. Comparativa de la velocidad de preparación de pedidos de ambos sistemas

Velocidad de preparación de pedidos	Arquitectura de Control Web 2.0	Solución Clásica de Automatización
17 - 2 - 2014	12,2 pedidos / min	11,5 pedidos / min
24 - 2 - 2014	11,2 pedidos / min	14,3 pedidos / min
3 - 3 - 2014	10,7 pedidos / min	8,5 pedidos / min
10 - 3 - 2014	11,2 pedidos / min	9,2 pedidos / min
17 - 3 - 2014	14,3 pedidos / min	12,2 pedidos / min
24 - 3 - 2014	15,6 pedidos / min	14,5 pedidos / min
31 - 3 - 2014	11,9 pedidos / min	11,2 pedidos / min
7 - 4 - 2014	15,2 pedidos / min	14,5 pedidos / min
14 - 4 - 2014	13,2 pedidos / min	12,2 pedidos / min
21 - 4 - 2014	14,2 pedidos / min	13,5 pedidos / min

A nivel de oficina de farmacia, el impacto en el aumento de velocidad de preparación de pedidos es bastante superior como se ha mostrado en la Tabla 4-6, especialmente cuando los pedidos constan de varias unidades de medicamento

distintas. Los pedidos realizados por los clientes en las farmacias suelen constar de una única unidad de producto, siendo en este escenario la velocidad de preparación es unos 5 segundos superior en la Arquitectura de Control Web 2.0 respecto al brazo manipulador.

Sin embargo, los pedidos realizados con recetas que constan de múltiples productos distintos, la velocidad de preparación de pedidos se muestra claramente ventajosa, ya que pasamos de unos 15 segundos en la solución con microservidores hasta los 2 minutos en la solución con el brazo manipulador. La razón es que con los microservidores la velocidad de preparación es prácticamente la misma independientemente del número y tipo de productos, mientras que con el brazo manipulador el número de maniobras a realizar tiene un impacto importante en el tiempo total de preparación. Esta es una ventaja notable, ya que durante el tiempo de preparación de un pedido largo, el robot clásico no puede atender las peticiones de otros pedidos de otros clientes.

#### **4.4.3 Tasa de errores por carril vacío**

La tasa de pedidos completados es ligeramente superior en la Arquitectura de Control Web 2.0 debido fundamentalmente al algoritmo de reparto en tiempo real de los multicanales. En la solución clásica el reparto de la mercancía entre los carriles multicanales se realiza al lanzar el pedido. Si durante el proceso de dispensación uno de los carriles queda vacío el pedido genera falta de producto aunque sigan quedando productos en otros carriles del multicanal.

Por contra los microservidores mantienen sus datos de stock compartidos en tiempo real y si un carril queda vacío envía la cantidad pendiente a otro de los carriles con stock, según se ha explicado en el Apartado 3.2.1 (algoritmo de reparto multicanal en tiempo real). Esto garantiza el vaciado de todos los carriles del multicanal antes de no completar un pedido por falta de producto.

Dado que los carriles multicanales se configuran para los productos de mayor rotación esta situación se produce habitualmente durante los procesos de preparación de pedidos. Cada cubeta con falta de producto implica el desplazamiento de un operario para la recogida de la cubeta, la identificación y subsanación del error y la carga del carril. Esto afecta notablemente al rendimiento del almacén en su conjunto.

Hay otro factor que influye en la tasa de errores por carril vacío. Debido al alto coste en cableados y señales para el despliegue de miles de sensores en las arquitecturas de control clásicas, estas instalaciones constan de un sensor para el conteo de la salida de cada producto del carril, pero no de un sensor adicional para la detección de presencia de medicamento en balda. Los microservidores de la

Arquitectura de Control Web 2.0 constan de dos sensores por carril, uno para el conteo de la salida de los productos y otro para su detección de presencia en el carril. Esta información es utilizada tanto para notificar el estado de carril vacío con los leds ubicados en la parte trasera como para no repartir mercancía en carriles vacíos cuando el producto es multicanal. En la solución clásica la mercancía siempre se reparte entre todos los carriles multicanal, dado que se desconoce si un carril está vacío, provocando muchas cubetas a error por no poder completar el pedido.

#### ***4.4.4 Tasa de errores por carril atascado***

La tasa de errores por carriles atascados es prácticamente similar en ambos sistemas y tendente a cero. Los atascos suelen ser producidos principalmente por defectos de las cajas de medicamentos o por carga incorrecta de los carriles por parte de los operarios.

#### ***4.4.5 Horas de reposición carga de carriles***

La carga de carriles en las soluciones clásicas de almacenes no dispone de ninguna tecnología para la asistencia. En cambio, la solución de la Arquitectura de Control Web 2.0 consta de los microservidores de reposición. Esto hace que la reposición sea mucho más efectiva, ya que el operario recibe notificación visual acerca de la ubicación concreta en la que debe reponer cada medicamento que escanea con una PDA, y recibe información visual sobre los carriles vacíos y que por lo tanto deben ser los primeros en reponerse.

En la solución clásica el tiempo de reposición depende en gran medida del conocimiento de las ubicaciones por parte de los operarios y por lo tanto de la pericia del personal del almacén. Con la solución basada en microservidores, cualquier operario del almacén es capaz de realizar las tareas de reposición con el mismo ritmo. Mediante el sistema con microservidores equipados con leds, el proceso de reposición lleva la mitad de tiempo, mientras que con el sistema de reposicionamiento automático, el tiempo se reduce aún más y con la mitad de operarios.

Se ha contrastado que hacen falta aproximadamente dos operarios durante dos horas para reponer los carriles diariamente en la solución con microservidores, y casi el doble de tiempo, entre 3 y 4 horas más, de dos operarios expertos para reponer módulos con 1.000 referencias con la solución clásica. Con la solución totalmente automática, un operario realiza la carga en 1 hora y 30 minutos. Si los operarios encargados de reponer los robots de la solución clásica no son los habituales de esta sección, el tiempo de reposición puede llegar a duplicarse, como sucede durante las bajas o vacaciones. Si tenemos en cuenta que un almacén medio

tiene un nivel de automatización medio de 4.000 referencias, el ahorro en número de horas de reposición de los carriles es de unas 16 horas/hombre al día, lo que implica dos operarios menos en el almacén. A nivel económico puede suponer de media unos 3.000 euros de ahorro mensual.

Sin embargo, en el escenario de las oficinas de farmacia, la reposición es una labor que puede ser desarrollada automáticamente por los brazos manipuladores, encargados por lo tanto de la gestión automática del espacio de almacenamiento. Con la solución propuesta la reposición está asistida mediante leds pero se requiere la intervención de la persona para realizar esta función, motivo por el que hay que dedicar más tiempo a la reposición. También hay que señalar que el brazo manipulador mientras está realizando la tarea de reposición no puede realizar simultáneamente el trabajo de dispensación.

#### **4.4.6 Tasa de errores de reposición**

También hay que tener en cuenta además de la velocidad de reposición, la calidad de la reposición del guiado por los leds de los microservidores respecto a la carga en los carriles de la solución clásica en la que el error de reposición es más probable dado que no hay una ayuda visual al operario. Los leds indicadores de los microservidores no solo señalizan el lugar en el que hay que introducir el medicamento, sino que permanecen en estado parpadeante durante el tiempo que dura el proceso de reposición del carril, asistiendo al operario durante el procedimiento.

#### **4.4.7 Tiempo de reposición carril vacío**

La reposición de carriles vacíos es un proceso importante durante el tiempo de preparación de pedidos, dado que si un carril se ha vaciado durante la dispensación, si no se repone rápidamente se producirá de manera continuada el desvío a error de todas las cubetas en cuyo pedido se encuentre ese producto.

La notificación visual mediante el encendido con luz fija de los carriles vacíos se ha mostrado como un proceso muy eficaz para la rápida notificación a los usuarios de un carril vacío, y se ha medido que el tiempo medio de reposición de dicho carril durante la dispensación es menor de 2 minutos. En cambio, un carril vacío en la solución clásica normalmente solo es detectado cuando se desvía la primera cubeta a error, siendo muy improbable que un operario pueda detectar con anterioridad ese carril vacío.

##### **4.4.8 Horas de mantenimiento semanal**

Los microservidores de dispensación generan información clara acerca de las tareas de mantenimiento a realizar, como los emails estadísticos que son enviados a los responsables de mantenimiento. Esto redundará en un tiempo mucho más reducido de mantenimiento. Los microservidores de reposición también ayudan a las labores de mantenimiento, ya que en la práctica se ha demostrado que un carril lleno pero con los leds de reposición indicando que el carril se encuentra vacío, es identificativo de que algún problema se ha producido en el carril y requiere atención por parte del personal de mantenimiento.

Desde el punto de vista de las tareas de mantenimiento como la reasignación de nuevos productos o la generación de multicanales, el sistema de estadísticos del SCADA Web 2.0 genera información fácilmente accesible para el usuario y que no está disponible en las soluciones clásicas con autómatas industriales.

##### **4.4.9 Capacidad media de los carriles**

La capacidad media de almacenamiento de productos en los carriles de los almacenes es mayor en la arquitectura clásica formada por estructuras de hierro con longitudes de hasta 3 metros por carril. Los armarios dispensadores de la Arquitectura de Control Web 2.0 tienen una profundidad de 1,7 metros y la estructura es modular de aluminio. A pesar de la diferencia de capacidad de almacenamiento en ambas arquitecturas hay que destacar algunas consideraciones.

- El coste de varios carriles de dispensación de la Arquitectura de Control Web 2.0 es menor que el de un único carril de la solución clásica, pudiendo ser por lo tanto más metros lineales de producto automatizado en la Arquitectura de Control Web 2.0 al mismo coste que la solución clásica.
- La longitud tan larga de los carriles clásicos requiere disponer de dos inclinaciones distintas en la balda, para que los productos no cojan demasiada aceleración cuando son cargados con el carril completamente vacío, ya que se puede producir la apertura de la caja o su caída a la cinta. Esta doble inclinación produce problemas con algunos medicamentos finos. En la zona de cambio de inclinación los productos pueden apilarse y no deslizar correctamente. En la Arquitectura de Control Web 2.0 hay una única inclinación para todo el carril.
- Algunos productos pesados no pueden ser cargados aprovechando la totalidad de la longitud del carril, ya que se genera una excesiva presión en el medicamento ubicado sobre el elemento actuador que impide su dispensación. Esto implica que en la práctica no pueda aprovecharse la profundidad de todos los carriles.

En la oficina de farmacia el número de unidades que se pueden automatizar en la misma superficie ocupada es mayor con la solución de microservidores que con el brazo manipulador, debido al espacio ocupado por el propio brazo que requiere de un canal longitudinal libre por el que realizar sus movimientos enfrente de los estantes. Sin embargo hay que destacar que el número de referencias distintas a automatizar es mayor en la solución clásica que con los microservidores, ya que estos últimos trabajan con canales en los que se debe almacenar la misma referencia en todos ellos. De media, en una superficie de 6 metros cuadrados, se pueden almacenar unas 4.000 unidades con la solución clásica que pueden ser 4.000 referencias distintas, y unas 8.000 unidades con la solución de microservidores, repartidas entre 1.000 referencias diferentes.

Se puede concluir que para la mercancía de alta rotación en la que se almacena más de una unidad del mismo producto se aprovecha mejor el espacio con la solución basada en microservidores, mientras que para la baja rotación que consta de una única unidad de producto a almacenar aprovecha mejor el espacio la solución con brazo manipulador.

#### **4.4.10 Consumo eléctrico**

El consumo eléctrico se ha demostrado que es uno de los factores notables en la diferencia de las dos soluciones. El sistema basado en microservidores es de gran eficiencia energética, con un consumo total en la instalación de 1.000 carriles de tan sólo 60 W. Los microservidores se encuentran en reposo en estado de bajo consumo y tan solo cuando deben gestionar los procesos de dispensación y reposición realizan el encendido puntual de sensores y actuadores. El tiempo de encendido de los solenoides durante la dispensación es de tan sólo 100 ms.

La solución clásica requiere la alimentación permanente del cuadro de control con los autómatas y todos los sensores que son distribuidos en la instalación. A esto hay que añadir el consumo del compresor ya que los elementos actuadores están basados en electroválvulas y requieren aire comprimido. En la oficina de farmacia los motores encargados del movimiento del brazo manipulador suelen ser trifásicos, con potencias totales de hasta 4.000 W, lo que supone 10 veces más consumo que el necesario para el sistema con microservidores. El ahorro energético estimado es de unos 5.000 euros/anuales por cada 1.000 referencias automatizadas.

#### **4.4.11 Tiempo de instalación**

El tiempo de instalación de la solución con microservidores es razonablemente menor en tiempo en comparación con la solución clásica, debida a estos factores:

- Las estructuras de la solución clásica son de hierro y deben ser montadas en el almacén. Las estructuras de la Arquitectura de Control Web 2.0 son de aluminio y van completamente montadas al punto de instalación.
- El cableado de los sensores, electroválvulas y cuadro de control debe ser realizado en el propio almacén en la solución clásica. Sin embargo, los microservidores llevan integrados todos los sensores y actuadores, luego solo es necesario su despliegue y conexión para ir completando la instalación.
- En la solución para la oficina de farmacia, el módulo con microservidores puede llevarse complementemente montado y con los microservidores configurados. En cambio, la instalación de la solución con el brazo manipulador requiere el desplazamiento de técnicos altamente cualificados y todos los parámetros y ajustes mecánicos y electrónicos deben realizarse en la propia oficina de farmacia.

#### **4.4.12 Tiempo de ajuste y pruebas**

Los microservidores de dispensación y reposición pueden llevarse a la instalación totalmente testeados y de hecho también configurados con los parámetros de dispensación apropiados para los productos que van a automatizarse si esta información es facilitada por el almacén en el que va a realizarse la instalación.

En una solución clásica la fase de ajuste y pruebas es muy laboriosa ya que hay que comprobar que el cableado eléctrico de las miles de señales desplegadas funcione correctamente, así como en su ubicación correspondiente. Todo este trabajo así como el ajuste de las electroválvulas hay que realizarlo directamente en el almacén en el que se realiza la instalación.

#### **4.4.13 Telemantenimiento y control remoto**

La comunicación nativa vía Ethernet de todos los dispositivos tecnológicos implicados en la tecnología Web 2.0 hace que las tareas de telemantenimiento y control remoto de la instalación sean nativas con la solución y tan solo requieran de un acceso a internet con los parámetros de seguridad requeridos.

Las soluciones de telemantenimiento y control remoto de otras soluciones requieren el pago de licenciamientos específicos por parte de los usuarios y no tienen un nivel de acceso total, pudiendo realizar ciertas tareas de supervisión y control, pero no pudiendo conocer si hay un sensor concreto que se encuentra dañado. En la Arquitectura de Control Web 2.0 toda la información es accesible a través de los microservidores, incluyendo sensores y actuadores.

#### **4.4.14 Coste económico de la instalación**

El coste económico de la solución con microservidores es hasta cinco veces menor que la solución clásica, e incluyendo el sistema de ayuda a la reposición mediante los microservidores de reposición que no está disponible en las soluciones clásicas.

La solución con microservidores es más económica, debido a la no necesidad de licencias para el uso del software, redes y bases de datos y debido al menor coste del hardware y cableados. El proceso de fabricación de los microservidores es estándar y seriado siendo los únicos elementos sobre los que implementar los procesos de dispensación y reposición. La solución clásica implica un hardware más costoso basado en autómatas industriales y el despliegue de un cableado complejo tanto eléctrico como neumático. El coste del proceso de instalación también es menor al requerir menor personal y poder transportar los módulos premontados desde fábrica gracias a su modularidad.

#### **4.4.15 Coste económico del mantenimiento**

Desde el punto de vista del mantenimiento, la instalación puede ser mantenida por técnicos con una formación básica, debido a que las tareas se pueden resolver con la sustitución de unos microservidores por otros nuevos, labor que puede ser llevada a cabo por técnicos electrónicos o mecánicos con la formación correspondiente o por los propios usuarios de la instalación. Además, las herramientas software del sistema guían al usuario durante el proceso de mantenimiento indicando mediante informes los puntos claros que requiere de atención.

En las soluciones clásicas, tanto de almacén como de oficina de farmacia, la tecnología desplegada es mucho más compleja desde el punto de vista electrónico y mecánico, requiriendo intervenciones tanto para su mantenimiento preventivo como correctivo que deben ser realizadas por técnicos con una formación específica.

#### **4.4.16 Modularidad**

La modularidad es una de las virtudes de esta nueva tecnología respecto a las soluciones clásicas, permitiendo que la automatización pueda ir creciendo de forma progresiva conforme aumentan las necesidades del cliente. Esto es especialmente notable en la oficina de farmacia, en donde la solución con brazo manipulador requiere de una obra civil de acondicionamiento y que no puede ser aumentada en un futuro, salvo la sustitución de todo el robot por otro nuevo. En cambio, mediante los microservidores se pueden ir incorporando a la oficina de farmacia módulos automáticos de diverso tamaño y forma adaptados a la oficina de farmacia y de manera progresiva.

El menor coste de la Arquitectura de Control Web 2.0 respecto a las soluciones clásicas además de su modularidad permite acceder a la automatización a almacenes de distribución farmacéutica de mediano y pequeño tamaño, que no pueden acceder a la cuantía de las inversiones de las soluciones clásicas que están más enfocadas en las empresas de gran distribución. La descentralización de la Arquitectura Web 2.0 permite su modularidad haciendo más sencilla su implantación por etapas. Esto facilita la automatización de las plantas industriales respecto a las soluciones centralizadas que requieren mayores necesidades de implantación y coste.

##### **4.4.17 Nivel de ruido**

La automatización de las oficinas de farmacia a nivel de ruido representa ciertos problemas, de hecho se han producido diversas denuncias debido al ruido de estos robots cuando son instalados en farmacias 24 horas que deben operar por el día y la noche. Cuando el brazo manipulador entra en movimiento, el ruido generado por las correas puede superar los 75 dB. La solución del estado del arte actual para esta problemática consiste en encerrar a los brazos manipuladores en el interior de recintos insonorizados para evitar problemas de ruido con las viviendas colindantes a la oficina de farmacia. Estos cerramientos tienen un impacto en el precio total de la solución.

Desde el punto de vista del nivel de ruido la Arquitectura de Control Web 2.0 es óptima debido a que el mecanismo de extracción de los medicamentos desde los microservidores es prácticamente insonoro, permitiendo por lo tanto su instalación en estructuras estándar que no requieren de cerramientos acústicos. El nivel de ruido máximo medido con la nueva solución se sitúa en 15 dB.

#### **4.5 Resultado de los cuestionarios**

Tras completar la instalación de los prototipos y su puesta en marcha en condiciones de funcionamiento reales, se suministró una encuesta muy similar a la utilizada para la recogida de datos sobre el estado del arte a los usuarios finales. El objetivo de dicha encuesta es conocer el grado de satisfacción de la nueva arquitectura de control y poder comparar estos datos con los recogidos inicialmente.

Esta valoración cualitativa de las arquitecturas desde el punto de vista de los usuarios ha mostrado un correcto grado de satisfacción con la Arquitectura de Control Web 2.0 y que dicha arquitectura ha acometido de manera exitosa ciertos puntos débiles presentes en las arquitecturas clásicas aplicadas al sector farmacéutico. En la Tabla 4-9 se muestran de forma resumida los resultados de la encuesta realizados a cuarenta profesionales del sector que han tenido contacto con

los prototipos experimentales, tanto a nivel de gerencia, de operario, de mantenimiento o de informática. En la primera columna se muestra el dato medio del grado de satisfacción con el uso de la nueva solución y en la siguiente columna la desviación estándar.

Tabla 4-9. Resultados del cuestionario empleado para evaluar el funcionamiento de la Arquitectura de Control Web 2.0

<b>CUESTIONARIO RECOGIDA DE DATOS – SISTEMA DE AUTOMATIZACION WEB 2.0</b>		
<b>RESUMEN RECOGIDA DE DATOS</b>		
<b>RESPONDA A LAS SIGUIENTES CUESTIONES:</b>	<b>Media</b>	<b><math>\sigma</math></b>
1. ¿Cuál es su grado de satisfacción con la solución de automatización Web 2.0?	8,3	1,1
2. Indique si estaría dispuesto a seguir automatizando su almacén y proceso de preparación de pedidos en un futuro con esta solución.	8,2	2,0
3. ¿Considera válida la velocidad de dispensación y preparación de pedidos del sistema tecnológico?	8,7	1,5
4. Indique el grado de satisfacción del sistema tecnológico para la carga y reposición de los medicamentos con leds inteligentes.	6,6	3,2
5. ¿Facilita esta nueva solución al mantenimiento correcto y sincronizado del nivel de Stock de cada producto?	8,3	1,8
6. Evalúe la validez en el control de errores durante la preparación de los pedidos de la nueva solución.	9,2	1,2
7. ¿Qué importancia tiene el precio a la hora de seleccionar un sistema de automatización para su negocio?	8,7	4,3
8. Evalúe la importancia que otorga al consumo energético del sistema de automatización.	6,3	3,2
9.Cuál es el grado de exigencia del mantenimiento para el buen funcionamiento de su sistema de automatización actual.	5,8	2,8
10. Indique la sencillez (1) o dificultad (10) para la ampliación de su sistema de automatización actual a otras zonas del almacén con la nueva solución.	6,6	3,2

Se puede concluir que el grado de satisfacción general y percepción de la nueva solución por parte de los usuarios y personal participante durante la fase de evaluación es muy positiva.

El usuario percibe la tecnología de la arquitectura Web 2.0 como una solución de mayor sencillez y control por su parte que las soluciones clásicas a la vez que observa un correcto funcionamiento y alta tasa de rendimiento. Gran parte de los encuestados ven con mayor probabilidad un posible aumento de la automatización

de su planta gracias a las ventajas de instalación de la nueva solución, sobre todo la modularidad y el bajo coste.

### **4.6 Resumen del capítulo de implementación y validación**

Se ha completado la implementación de la Arquitectura de Control Web 2.0 de manera experimental en todos sus ámbitos, instalando los prototipos de sistemas basados en microservidores tanto para los procesos de dispensación como de reposición. Para poder evaluar el funcionamiento del sistema ha sido igualmente necesario desarrollar todas las herramientas software y de compatibilización que han permitido la puesta en marcha de la línea en condiciones de funcionamiento reales en almacenes de distribución y de oficinas de farmacia.

La instalación piloto ha podido ser evaluada en un almacén con funcionamiento de preparación de pedidos real, y en la que el nuevo sistema coexiste con soluciones del estado del arte actual, lo que ha facilitado la toma de datos y comparación del funcionamiento de ambas líneas, así como la mejora en la eficiencia de los algoritmos para superar en rendimiento las limitaciones de las soluciones clásicas.

Tras la puesta en marcha, se ha procedido a una toma de datos experimental y mediante los emails automáticos que es capaz de generar el sistema diariamente con los datos estadísticos de funcionamiento. El proceso de toma de datos ha tenido tres meses de duración, en el que ha habido una presencia continua en el almacén y se ha realizado la evolución y optimización de los algoritmos. Todo este volumen de información ha permitido evaluar el funcionamiento de las instalaciones y su comparación con las líneas de fabricantes líderes del mercado con arquitecturas de control clásicas. También se ha utilizado el instrumental necesario para la medición de otros parámetros de funcionamiento como los consumos eléctricos o nivel de ruido de cada instalación.

La evaluación de los resultados que ha sido realizada tanto a nivel tecnológico como en términos de eficacia y eficiencia, empleando todos los puntos que han sido identificados como factores clave para el sector de distribución farmacéutica en el Apartado 2.8 del estado del arte del Capítulo 2. El estudio comparativo ha mostrado ciertas ventajas competitivas de la nueva solución, que en su conjunto presentan una alternativa real a las arquitecturas clásicas de control aplicadas a este sector y que puede ser desarrollada y comercializada en un futuro por empresas de automatización.

Adicionalmente a la toma de datos, se han realizado encuestas para comprobar el grado de satisfacción de los usuarios que han participado durante los pilotos con la Arquitectura de Control Web 2.0. La percepción de los usuarios del

#### ***4.6. Resumen del capítulo de implementación y validación***

---

uso de esta tecnología es positiva, sobre todo si se compara los resultados de la encuesta de la Tabla 4-9 con los resultados de las encuestas del estado del arte mostrados en la Tabla 2-4 del Capítulo 2.



## Capítulo

# 5

## Conclusiones y líneas futuras de trabajo

**E**n los capítulos anteriores se ha presentado la problemática de los procesos de automatización del sector de distribución farmacéutica y farmacias, así como las limitaciones de las soluciones presentes en el estado del arte actual. La automatización de los procesos de preparación de pedidos se presenta como una necesidad creciente en dicho sector, tanto por las necesidades de competitividad para la mediana y pequeña distribución, como para los nuevos retos a los que se presenta la gran distribución como la ley de trazabilidad total de los medicamentos o el creciente número de referencias y artículos.

Los sistemas de automatización aplicados al sector farmacéutico se encuentran en continua evolución, surgiendo autómatas, redes de comunicación y mecanismos cada vez más potentes para afrontar estas necesidades. Lo anterior es relevante en la tesis por el hecho de que todas estas soluciones se basan en mejoras tecnológicas de los componentes de la arquitectura de control, pero no presentan una solución tecnológica distinta basada en nuevas configuraciones o nuevos dispositivos para resolver o mejorar los mismos procesos.

La Arquitectura de Control Web 2.0 basada en microservidores ha sido evaluada como una eficiente solución para aquellos procesos que requieren el manejo de grandes cantidades de señales de entrada y salida en tiempo real. A través del bus Ethernet, sin necesidad de complejos cableados, los microservidores pueden ser desplegados de forma rápida, sencilla y con un bajo coste, siendo ésta

otra de las mayores ventajas de la arquitectura en su implementación práctica. Para poder evaluar este aspecto es interesante la aplicación de esta nueva arquitectura a los procesos de la industria farmacéutica, ya que es un entorno que maneja miles de productos distintos en intervalos de tiempo muy exigentes y con una tolerancia prácticamente cero a los errores.

Además de las ventajas de la propia arquitectura, los datos recogidos muestran un comportamiento eficiente desde el punto de vista de la fiabilidad y de la velocidad de preparación de pedidos. Una de las principales aportaciones de los microservidores respecto a una estrategia tradicional con sensores y actuadores, consiste en que cada microservidor realiza de forma autónoma e inteligente el proceso de dispensación a la vez, y el tiempo entre disparos para la extracción de cada producto es diferente para cada carril conforme a las mediciones que realiza cada microservidor con el sensor con el que detecta la salida de los productos. En un sistema convencional las activaciones de los actuadores se realizan de forma secuencial, de igual manera que la detección de los sensores, y el tiempo entre disparos es fijo y no adaptativo a los requisitos de cada producto en cada carril.

Cabe destacar que la sencillez de la solución permite su aplicación tanto a la industria farmacéutica como a las oficinas de farmacia, algo que no es posible con las soluciones del estado del arte actual, que son totalmente diferentes para cada uno de los dos escenarios. Se han podido adaptar en tamaño y forma las estructuras de los microservidores para las farmacias y realizar una toma de datos en la que se identifican parámetros de mejora importantes, como la alta velocidad de preparación de pedidos o el bajo nivel sonoro, que son elementos críticos de la solución con los brazos manipuladores empleados en el estado del arte actual para la automatización de las oficinas de farmacia.

El consumo energético de la solución con la Arquitectura de Control Web 2.0 ha es otro de los aspectos relevantes, que demuestra que es un sistema eficiente y por lo tanto ecológico, en línea con la reducción de consumo buscada en la industria para el aumento de sus futuros procesos de automatización y sostenibilidad industrial. De hecho, toda la instalación eléctrica de la arquitectura experimentada es monofásica, sin requisitos de líneas de energía trifásicas para ninguno de los procesos.

El sistema de reposicionamiento basado en leds inteligentes para el guiado del operario es una solución novedosa y válida tanto para su uso en la Arquitectura de Control Web 2.0 con el sistema de microservidores como para su instalación en los carriles dispensadores de las soluciones clásicas, ya que el proceso de reposición y carga de estos carriles ha sido identificado como uno de los procedimientos críticos del sistema en cuanto al control de errores. Un carril mal repuesto generará inevitablemente mercancía enviada indebidamente hacia el usuario final. La

reposición de los carriles es una labor compleja debido al número de horas que hay que dedicar a este proceso, los miles de artículos manipulados y la similitud de todos los carriles desde su parte trasera.

La solución con microservidores equipados con leds puede ser una tecnología que en un futuro puede evolucionar para su implementación en otros sectores industriales, aplicándose para la gestión de los procesos logísticos generales de almacenamiento. El sistema de microservidores con led permite un manejo del almacén mediante el guiado de las personas y la localización exacta de las ubicaciones de forma visual. Presenta una funcionalidad superior a las soluciones tradicionales mediante PDA o radiofrecuencia. Además, los leds pueden actuar como gestores del espacio del almacén, optimizando caóticamente las ubicaciones de las baldas de las estanterías y consiguiendo un aprovechamiento similar al de otras soluciones tecnológicas con un coste muy superior como los robots manipuladores totalmente automáticos.

En previsión a la creciente problemática de los procedimientos manuales de reposición de las máquinas dispensadoras conforme se vaya aumentando el nivel de automatización de los almacenes, se ha desarrollado y patentado un sistema de reposicionamiento totalmente automático, en el que sin necesidad de intervención humana los productos son trazados y cargados en su carril correspondiente. Este sistema innovador puede abrir una nueva metodología de trabajo en los almacenes y permitir un continuo abastecimiento de las máquinas dispensadoras a través del conocimiento del nivel de stock de los microservidores, lo que redundará en una enorme reducción de errores, tanto por la correcta carga de los carriles como por evitar su vaciado de manera automática.

Como muestra de la contribución tecnológica y de investigación, se han obtenido cuatro patentes durante el desarrollo de la presente tesis doctoral, tres de ellas nacionales y una internacional. El resultado de estas patentes son un conjunto de reivindicaciones que recogen el desarrollo intelectual para la concepción de los microservidores utilizados en la Arquitectura de Control Web 2.0 tanto para las aplicaciones de dispensación como para la reposición de los productos en los carriles dispensadores.

Cabe mencionar que para la fase de experimentación de la tesis doctoral se ha colaborado con las empresas de ingeniería y robótica Microtiker S.L. y Cenker Robotics S.L., que se han encargado de la financiación de los prototipos para la implementación física de los sistemas que utilizan la Arquitectura de Control Web 2.0. El objetivo de estas entidades ha sido conseguir una licencia de comercialización de las patentes aportadas por la tesis, que ya han obtenido una vez que la nueva tecnología ha sido completamente desarrollada.

## 5. Conclusiones y líneas futuras de trabajo

---

Ha sido igualmente importante la colaboración con centros de distribución farmacéutica, quienes han validado los prototipos desarrollados en sus almacenes en entornos de funcionamiento reales y han facilitado el acceso a las oficinas de farmacia de sus socios para las pruebas de los prototipos en este campo. Para esta toma de datos, se ha colaborado con las empresas de distribución farmacéutica Cenfarte, Farmanosa, Grupo Sanal y Cofabu, quienes también han contribuido al análisis de los resultados de la solución y su comparación con las soluciones clásicas.



*Figura 5.1. Logos corporativos de las empresas colaboradoras en la financiación de la tesis doctoral, Microtiker S.L. y Cenker Robotics S.L.*

Desde el punto de vista del impacto socioeconómico, se considera que la presente tesis doctoral puede tener una aportación muy positiva en la industria, gracias a la modularidad de la tecnología y su bajo coste. El futuro de los almacenes de distribución de productos, de cualquiera de sus ámbitos, pasa por la incorporación de nuevas soluciones tecnológicas que ayuden a la gestión y eficacia de su empleo. Las soluciones clásicas tienen un coste elevado y no pueden incorporarse con facilidad a la industria de mediana y pequeña distribución, cuya automatización es clave para la competencia frente a la gran distribución.

Este marco hace que el desarrollo presentado en la tesis doctoral, que presenta una solución eficaz e innovadora para la gestión de los almacenes farmacéuticos, pueda tener un notable impacto socioeconómico y crear una nueva línea en el desarrollo de proyectos de automatización de almacenes.



*Figura 5.2. Empresas de distribución farmacéutica que han colaborado para la toma de datos y análisis de los resultados de la Arquitectura de Control Web 2.0 en almacenes de distribución farmacéutica y oficinas de farmacia.*

## 5.1 Validación de la hipótesis

La hipótesis inicial quedó establecida como sigue:

Es posible diseñar e implementar una nueva arquitectura de control basada en tecnologías Web 2.0 y sistemas microelectrónicos avanzados que pueda ser aplicada a la industria de distribución farmacéutica con ciertas ventajas competitivas sobre las soluciones existentes y manteniendo o aumentando los ratios de productividad y eficiencia de los sistemas de automatización actualmente aplicados.

El desarrollo de la tesis valida la hipótesis de partida, ya que la nueva Arquitectura de Control Web 2.0 con microservidores tiene ciertas ventajas cuantitativas y cualitativas en su aplicación en la automatización de almacenes de distribución farmacéutica y oficinas de farmacia.

La metodología de la tesis tiene como pilar básico la implantación en un mismo ambiente industrial de la solución clásica y la nueva arquitectura para medir en ambas situaciones los parámetros de calidad de la instalación según han sido establecidos.

## 5.2 Consecución de objetivos

La validación de la hipótesis es la consecución de una serie de objetivos según la metodología seguida en la tesis y dando lugar a una serie de aportaciones:

### *O1. Estudio del estado del arte.*

Se ha realizado un análisis del estado del arte en los sistemas de automatización industrial y su aplicación específica al sector de distribución farmacéutica que han aportado el nivel de conocimiento necesario para poder plantear el desarrollo de una arquitectura de control original que cumpla con los mismos requisitos funcionales y que además tenga la originalidad del empleo de unos dispositivos patentables.

El estudio realizado también ha incluido el análisis del rendimiento de las instalaciones actuales conforme el estado de la técnica y permiten obtener un escenario cuantitativo acerca de los parámetros de rendimiento y funcionamiento de las soluciones actuales y que pueden ser utilizados por otros investigadores como base para sus desarrollos.

## **5. Conclusiones y líneas futuras de trabajo**

---

Dado el carácter industrial de la presente tesis, ha sido necesario contrastar el grado de innovación de las soluciones propuestas con el estudio del estado de la técnica realizado por las Oficinas de Patentes y Marcas tanto nacionales como internacionales. Dichos análisis concluyen que las nuevas estrategias preconizadas suponen una innovación en el ámbito de la distribución farmacéutica. Metodológicamente el trabajo anterior es independiente del desarrollo de la tesis, ya que es elaborado por un grupo de expertos internacional independiente.

### *O2. Desarrollo de la arquitectura y microservidores.*

Se ha propuesto una nueva arquitectura de control basada íntegramente en dispositivos microservidores, cuyo diseño original ha sido reconocido oficialmente con la obtención de tres patentes. El desarrollo de la solución no se ha limitado a cubrir las necesidades de dispensación para la preparación de los pedidos, sino que se ha aportado originales soluciones para la reposición de los canales, tanto semiautomáticas como totalmente automáticas. El proceso de reposición resulta de vital importancia para el control de errores y correcto funcionamiento de los dispensadores. Dichos sistemas basados también en microservidores, forma parte de la arquitectura global de la solución pudiendo dialogar a través de un mismo bus Ethernet todos los dispositivos presentes en la arquitectura.

El uso de la red Ethernet como elemento principal de la comunicación facilita la implementación de la arquitectura CIM en la organización, permitiendo una mejor comunicación entre todos los niveles al emplear un único tipo de bus tanto a nivel de control como de gestión.

Toda la implementación pivota sobre un cambio de paradigma tecnológico, ya que se pasa de una solución clásica, “pesada” y basada en autómatas industriales a una solución moderna, “ligera” y basada en microservidores.

### *O3. Diseño de algoritmos de control.*

Para el desarrollo de los algoritmos se han empleado lenguajes de programación Web 2.0, resultando que su empleo es válido para obtener el rendimiento necesario en los dispositivos de la arquitectura industrial. El elemento SCADA para la monitorización y control de la arquitectura ha sido implementado utilizando páginas Web, y se ha validado su idoneidad y sencillez de manejo con los usuarios finales de la arquitectura.

Tras el estudio del estado del arte en las arquitecturas clásicas se han incluido en los algoritmos de control de los microservidores ciertas mejoras no contempladas por las soluciones clásicas, como el reparto en tiempo real del stock en la

dispensación de productos multicanales o la posibilidad de emplear más de un mecanismo impulsor mediante el bus de control para los medicamentos pesados o con formatos especiales.

Adicionalmente a los propios algoritmos de dispensación de la arquitectura de control, se han desarrollado los algoritmos para la asistencia a la reposición de los carriles mediante los microservidores de reposición, todo ello con el mismo entorno Web e interfaz que con los microservidores de dispensación.

La naturaleza nativa de Ethernet de los microservidores es eficaz para la recogida de datos en tiempo real y para el tratamiento de históricos, desarrollando páginas Web específicas para el filtrado de dicha información y la ayuda a labores de mantenimiento y de optimización de la línea, así como sistemas de asistencia mediante envíos automáticos de emails y notificaciones.

### *O4. Experimentación y estudio comparativo.*

La Arquitectura de Control Web 2.0 ha sido puesta en funcionamiento mediante prototipos en entornos reales de producción tanto en almacenes de distribución como en oficinas de farmacia, y ha permitido realizar una toma de datos exhaustiva así como sacar conclusiones relativas a los aspectos cualitativos de la solución respecto a las arquitecturas de control clásicas.

Los rendimientos obtenidos son superiores a los de las soluciones clásicas, al tiempo que se obtienen una serie de ventajas notables como bajos consumos eléctricos, facilidad de crecimiento y bajos niveles de ruido. Estas ventajas sumadas al bajo coste de la solución tanto en su implantación como en su mantenimiento, permiten que la Arquitectura de Control Web 2.0 sea una firme candidata para la futura automatización de la distribución farmacéutica.

### *O5. Obtención de patentes industriales.*

La implementación de la Arquitectura de Control Web 2.0 propuesta ha supuesto un grado de innovación a nivel mundial que ha sido reconocido a través de tres patentes nacionales y una patente internacional. Dichas patentes se encuentran en explotación a través de licencias de fabricación por parte de las empresas colaboradoras en el desarrollo de las fases experimentales y de validación, así como por otras empresas distribuidoras que se han unido con posterioridad a la explotación de la tecnología. Lo anterior aporta a todo el trabajo el carácter de “tesis industrial”.

### 5.3 Resultados

En la tesis se han obtenido distintos resultados adicionales a la evaluación y validación de la solución de la nueva Arquitectura de Control Web 2.0 presentada:

- Se han obtenido cuatro patentes directamente relacionadas con el diseño de los microservidores de la Arquitectura de Control Web 2.0.
  - Patente internacional con código EP2287814A1. *Apparatus for the automatic dispensing and semi-automatic repositioning of commercial products.*
  - Patente nacional con código ES2328656B1. *Instalación para la dispensación automática y reposición semiautomática de productos comerciales.*
  - Patente nacional con código ES234912B1. *Instalación para el cuidado, localización y gestión de artículos en un almacén.*
  - Patente nacional con código ES2340019A1. *Instalación para el reposicionamiento automático de productos comerciales y procedimiento de reposición.*
- Se han realizado publicaciones científicas en los congresos REV, IFAC y ETFA; y en las revistas iJOE y ARIS, está última pendiente de publicación:

Autores (p.o. de firma): J. Garcia-Zubia, I. Trueba Parra, D. López de Ipiña Título: WEB 2.0 Pharmacy robots Revista: International Journal of Online Engineering Clave: A Volumen: VOL 6, Special Issue REV 2010, 2010 Páginas, inicial: 12 final: 18 Fecha: 2010 Editorial (si libro): ISSN: 1861-2121 Lugar de publicación: Austria
Autores: J. García-Zubia, I. Trueba Título: WEB 2.0 Control architecture for industrial robots Tipo de participación: Comunicación Congreso: ETFA 2010, 15 <sup>th</sup> International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation Publicación: Proceedings of ETFA 2010, ISBN: 978-1-4244-6849-2, 8 pp Lugar celebración: Bilbao Fecha: 06/2010
Autores: J. García-Zubía, I. Trueba Parra Título: WEB 2.0 pharmacy Robots Tipo de participación: Comunicación Congreso: REV 2010, Remote Engineering of Virtual Instrumentation Publicación: Proceedings of REV 2010, ISBN: 978-3-89958-540-7 , 41-47 pp Lugar celebración: Estocolmo Fecha: 06/2010

Autores: Javier Garcia-Zubia, Iván Trueba, Diego Lopez de Ipiña, Pablo Orduña, Unai Hernandez, Jose M. Saenz	
Título: Requirements of useful remote labs	
Tipo de participación: comunicación	
Congreso: IFAC Symposium Cost Oriented Automation 8th - Affordable Automation Systems (COA 2007)	
Publicación: Proc IFAC, 5 pp	
Lugar celebración: La Habana (Cuba)	Fecha: 2/2007
Autores: Javier García-Zubía, Diego López-de-Ipiña, Domenico Ponta, Unai Hernández, Pablo Orduña, Iván Trueba	
Título: WebLab-GPIB at University of Deusto	
Tipo de participación: comunicación	
Congreso: IV Remote Engineering and Virtual Instrumentation, REV 2007	
Publicación: Proceedings of REV 2007, 74_paper.pdf, 7 pp, ISBN: 978-3-89958-278-9	
Lugar celebración: Oporto (Portugal)	Fecha: 6/2007

- Se ha presentado la tecnología en la Feria Mundial de Logística de Panamá 2013 y en la Feria Mundial de Logística de Perú 2014, exponiendo las soluciones tecnológicas de la tesis con excelente aceptación.
  - Trueba I. (2013). Soluciones Tecnológicas para la Mejora en la Eficiencia de las Bodegas. En *Expologística Panamá 2013 - Congreso de Logística y Transporte Multimodal*.
  - Trueba I. (2014). Soluciones Tecnológicas para la Mejora en la Eficiencia de las Bodegas. En *Expologística Perú 2014 - Congreso de Logística y Transporte Internacional*.

## 5.4 Conclusiones

Tras la consecución de los objetivos es posible establecer una serie de conclusiones generales que afectan al campo de investigación de las arquitecturas de control y a la automatización de los procesos de distribución farmacéutica:

- La escalabilidad de la Arquitectura de Control Web 2.0 basada en microservidores facilita el proceso de automatización de los almacenes farmacéuticos dada su sencillez de montaje y la descentralización total de la arquitectura que permite colocar tantos microservidores de control como se necesiten y de forma progresiva. Este aspecto permite definir en las farmacias un sistema de automatización totalmente distinto a los manipuladores industriales que ocupan espacios concretos y no pueden ser ampliados con facilidad.
- El consumo energético de la solución de la nueva arquitectura es revolucionario respecto a las soluciones basadas en autómatas centralizados con sensores cableados y actuadores neumáticos. Los

microservidores alimentan los sensores y actuadores solo en los momentos precisos permaneciendo todos los elementos en modo reposo la mayor parte del tiempo. De media el consumo energético es 10 veces menor, con los efectos positivos que ello conlleva desde el punto de vista ecológico y de sostenibilidad de las soluciones automáticas pretendida en los nuevos diseños industriales.

- La velocidad de la preparación de pedidos mediante microservidores es al menos tan rápida como la solución basada en autómatas industriales. Desde el punto de vista de la calidad de la preparación, los microservidores se adecúan mejor a las necesidades particulares de dispensación de cada producto y resulta más sencilla su configuración y labores de mantenimiento.
- Los algoritmos de control desarrollados en lenguaje Web 2.0 se han mostrado eficientes y robustos, así como se han realizado ciertas mejoras en los algoritmos respecto a los estándares del estado del arte actual, como la inclusión de reparto de mercancía entre los multicanales de los dispensadores en tiempo real o el algoritmo para el uso de múltiples dispensadores en tándem para los productos pesados.
- La tasa de errores de la solución es menor que en las soluciones clásicas, no tanto por los atascos físicos que puedan producirse mecánicamente en los carriles dispensadores, sino por el tratamiento informático del algoritmo sobre los microservidores que posibilita un reparto en tiempo real del stock de los multicarriles y el empleo de varios microservidores para dispensar un mismo producto sobre un mismo carril.
- El proceso de instalación y despliegue de la arquitectura de control es sencillo, sin el uso de cableados o elementos intermedios complejos, lo que representa una ventaja clara para los procesos de automatización que implican miles de señales de entrada y salida. El sistema de comunicación mediante Ethernet en toda la solución facilita la instalación de la configuración CIM en la empresa, permitiendo un flujo de información nativo entre los niveles de planta y de gestión.
- El sistema de reposicionamiento de los carriles mediante los microservidores de reposición con leds ha resultado una tecnología eficiente para el guiado de los operarios aumentando la velocidad de reposición y disminuyendo los errores de carga en los carriles. Los algoritmos desarrollados con tecnologías Web 2.0 para el empleo de los microservidores destinados a dicha tarea de reposición se han mostrado estables y eficaces.

- El sistema de reposicionamiento de los carriles totalmente automático se ha demostrado como la solución tecnológica de mayor eficiencia a nivel mundial para la carga de los dispensadores de balda inclinada, garantizando la ausencia de errores durante el proceso y extendiendo la trazabilidad del almacén también a los procesos de carga.
- El mantenimiento de la arquitectura es más sencillo que en las soluciones clásicas, facilitando la detección de averías y los procesos de reparación o sustitución de elementos dañados, y necesitando únicamente un navegador Web para acceder en tiempo real a la información. También es una arquitectura segura para los usuarios y permite un acceso controlado en caso de necesidad de intervención manual.
- El nivel de ruido de la solución es muy bajo, lo que facilita su puesta en marcha y uso en oficinas de farmacia, respecto al empleo de las soluciones con manipuladores industriales que requieren el aislamiento acústico de la zona en la que son instalados, con el consiguiente coste económico.
- El bajo coste de la solución permite que la automatización de los procesos de preparación de pedidos en el sector de la distribución farmacéutica pueda ser acometido con mayor facilidad por parte de la media y pequeña distribución. Las soluciones de automatización clásicas son accesibles principalmente para las grandes empresas de distribución y oficinas de farmacia de mayor volumen de negocio. La media y pequeña distribución necesitará automatizarse para ser competitiva en el mercado, y la Arquitectura de Control Web 2.0 puede ser una alternativa válida para estas empresas, así como para aumentar el nivel de automatización en las grandes distribuidoras.
- El uso de lenguajes de programación, bases de datos y buses de comunicación libres permiten obtener un grado de rendimiento similar al de los sistemas propietarios, con el correspondiente ahorro económico en licencias para los usuarios finales.

### 5.5 Líneas futuras de trabajo

La Arquitectura de Control Web 2.0 al ser la primera solución que puede ser empleada con la misma base tecnológica tanto en los almacenes de distribución farmacéutica como en las oficinas de farmacia, permite plantear un escenario futuro en el que los microservidores de los almacenes y los microservidores de las farmacias se encuentren interconectados, de forma que la gestión de los pedidos de compra y su preparación pudiera ser realizado de forma totalmente autónoma y

## 5. Conclusiones y líneas futuras de trabajo

automática. Esto permitiría a los farmacéuticos dedicar todo su tiempo a la atención de los pacientes y la gestión de su negocio, siendo el tránsito de la mercancía y dispensación controlada directamente por sus microservidores conectados al almacén de distribución.

Esta conexión entre microservidores a través de Internet con compartición de la información de las bases de datos MySQL de los distintos participantes del proceso, también posibilitaría a los almacenes de distribución una gestión en tiempo real de sus niveles de stock en base a las necesidades en tiempo real de los microservidores de las farmacias, pudiendo incluso realizar las asignaciones de los productos con sus lotes, lo que facilitaría al máximo los procesos de trazabilidad que son tan complejos de efectuar en este sector de forma manual (ver Fig. 5.3).

Las disciplinas de Big Data e Inteligencia Artificial pueden tener un importante campo de investigación una vez que la Arquitectura de Control Web 2.0 se haya instalado de forma masiva, debido a la gran cantidad de información que va a ser generada por los microservidores y las posibles interrelaciones entre ellos para optimizar al máximo los flujos de mercancía entre los almacenes de distribución y las oficinas de farmacia, pudiendo llegar a prever la necesidad de ciertos productos incluso antes de que se realice su venta.

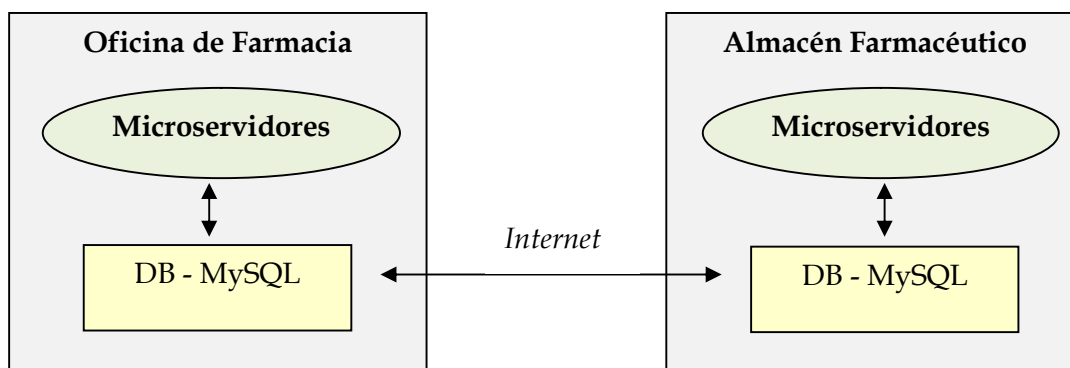


Figura 5.3. En un futuro la conexión entre microservidores de farmacia y almacén permitirá con el software adecuado una gestión automática de los stocks y las compras.

Otra línea de investigación a desarrollar en un futuro es la migración de la Arquitectura de Control Web 2.0 con otros modelos de microservidores para su adaptación a otros entornos industriales, ya que se ha demostrado que con un diseño eficiente y adecuado de estos dispositivos, la solución presenta importantes ventajas respecto a las soluciones clásicas. Los ámbitos que consideramos más sencillos para su evolución son principalmente la industria logística, en sectores como almacenes de distribución de otro tipo de productos con un número alto de

distintas referencias, como almacenes de parafarmacia, tornillería industrial, pinturas, ópticas u prótesis dentales.

Para que dicha evolución de la arquitectura a otras industrias pueda implementarse, el campo de investigación abierto será el diseño de nuevos sistemas basados en microservidor adaptados a las necesidades de sensórica y de actuadores de cada aplicación industrial, lo que también abre campo para el desarrollo de nuevas patentes en base a estos futuros diseños.

Del mismo modo que la Arquitectura de Control Web 2.0 ha conllevado la realización de algoritmos de control nuevos en lenguajes de programación Web 2.0 y aportando mejoras en la funcionalidad respecto a los algoritmos clásicos basados en autómatas, una línea de investigación se puede basar en la mejora y optimización de dichos algoritmos para conseguir extraer la máxima cantidad de líneas por pedido y reducir la tasa de errores en base a la evolución de dichos algoritmos o mediante el desarrollo de otros nuevos.

El sistema de leds inteligentes mediante microservidores desarrollado en la tesis, además de su evolución ya comentada hacia otros ámbitos de aplicación, también abre un camino de desarrollo tecnológico para aumentar sus capacidades. Mediante receptores GPS o triangulación de señales WiFi, sería posible localizar dinámicamente cualquier objeto o persona del almacén que tuviera uno de estos dispositivos y solicitar a los microservidores de leds que iluminen el recorrido optimizado para que cada operario pueda alcanzar en el menor tiempo posible y sin errores el producto o ubicación buscada. En este escenario el sistema de leds no sólo iluminaría las ubicaciones, sino también las rutas optimizadas a recorrer hasta llegar a ellas.

Las tecnologías de reposicionamiento que han sido aportadas, tanto de forma semiautomática asistida por leds como de forma totalmente automática mediante sistemas mecánico/electrónicos puede ser adaptada a otros sectores industriales que requieren igualmente la reposición de mercancía desde las ubicaciones de origen del almacén hacia las estanterías o módulos dispensadores de otras industrias. La ausencia de soluciones para la reposición de la mercancía en los almacenes más allá del empleo de dispositivos móviles tipo PDA, abre un campo de investigación importante en la migración de las tecnologías de reposicionamiento ofrecidas en la tesis a otros muchos sectores, así como su posible modificación o evolución.



# Glosario

**AJAX:** (*Asynchronous JavaScript and XML*) es una técnica de desarrollo Web para crear aplicaciones interactivas.

**Apache:** servidor Web multiplataforma desarrollado con software libre y distribuido con licencia GPL. Gestionado por la organización Apache Software Foundation es el servidor Web más popular del mundo por su estabilidad y seguridad.

**Applet:** componente de una aplicación que se ejecuta en el contexto de otro programa, como es el caso de un navegador Web. El applet debe disponer de un programa contenedor, que es proporcionado mediante un plugin.

**Big Data:** sistemas informáticos basados en la acumulación a gran escala de datos y de los procedimientos usados para identificar patrones recurrentes dentro de esos datos.

**Bus I2C:** bus de comunicación serie diseñado originariamente por Philips utilizado para comunicar microcontroladores con otros chips periféricos dentro de una tarjeta de circuito impreso, mediante un protocolo síncrono.

**Bus SPI:** (*Serial Peripheral Interface*) es un estándar de comunicaciones empleado para la transferencia de información entre circuitos integrados. Es un bus síncrono que incluye una línea de reloj, un dato entrante, un dato saliente y un pin para selección de chip de comunicación.

**Cinta transportadora:** sistema de transporte que consta de una banda continua que se mueve entre dos rodillos ubicados en los extremos de una estructura, siendo uno de ellos motorizado.

**Camino de rodillos:** sistema de transporte formado por rodillos cilíndricos que pueden ser accionados mediante motores o de tracción manual para facilitar el arrastre de cajas.

**CIM:** (*Computer Integrated Manufacturing*) es un sistema de fabricación que integra todos los procesos existentes, tanto en lo referente a las áreas de gestión, como a diseño, fabricación o distribución.

**DOM:** (*Document Object Model*) es una estructura de objetos que genera el navegador cuando se carga un documento y se puede alterar mediante JavaScript para cambiar dinámicamente los contenidos y aspecto de la página Web.

DSP: (*Digital Signal Processor*) es un circuito integrado programable caracterizado por su alta capacidad de procesamiento de datos y de operaciones en tiempo real.

Encóder: sensor utilizado para convertir la posición angular de un eje en un código digital capaz de ser interpretado por un microcontrolador, empleándose para el control de la posición o la velocidad de un movimiento.

ERP: (*Enterprise Resource Planning*) es un software de gestión integrada, que permite administrar los procesos operativos de una empresa integrando varias funciones en un único sistema informático.

Ethernet: es un estándar de redes de área local para ordenadores con acceso al medio por detección de onda portadora y con detección de colisiones.

FIFO: (*First Input First Output*) es una técnica de almacenaje para productos perecederos, en el que además de su ordenación por familias, deben ser colocados de manera que los primeros dispuestos a salir sean los más próximos a su fecha de caducidad.

ICSP: (*In-Circuit Serial Programming*) es un protocolo para la programación de microcontroladores mediante un bus síncrono con un pin para el reloj y otro para datos.

Inteligencia Artificial: disciplina multidisciplinaria, que a través de ciencias como las ciencias de la computación, la lógica y la filosofía, estudia la creación y diseño de entidades capaces de resolver problemas cotidianos utilizando como paradigma la inteligencia humana.

JAVA: lenguaje de programación de propósito general, concurrente y orientado a objetos, que fue diseñado específicamente para tener tan pocas dependencias de implementación como fuera posible.

JavaScript: lenguaje de programación interpretado, orientado a objetos, que se ejecuta del lado del cliente, como parte del navegador Web, y es utilizado para mejorar las interacciones de las páginas Web, como mostrar mensajes, arrastrar elementos o modificar contenidos.

Microcontrolador: circuito integrado programable capaz de ejecutar las órdenes grabadas en su memoria. Consta de varios bloques funcionales con tareas específicas e incluye los tres principales módulos de un computador: una unidad central de procesamiento, memoria y periféricos de entrada y salida.

Microprocesador: circuito integrado central y más complejo de un sistema informático, encargado de ejecutar los programas, desde el sistema operativo hasta las aplicaciones de usuario. Ejecuta las instrucciones programadas en lenguaje de bajo nivel y se comunica con buses externos con otros chips encargados de funciones como la memoria o los periféricos.

- MySQL: sistema de gestión de bases de datos relacional, multihilo y multiusuario, que opera como software libre en un esquema de licenciamiento dual.
- ODVA: asociación global compuesta por compañías de automatización de todo el mundo cuya misión es proporcionar tecnologías de comunicación abiertas e interoperables.
- PDA: (*Personal Digital Assistant*) es un dispositivo portátil equipado con pantalla táctil y lector de código de barras que incluye muchas de las funciones habituales de un ordenador.
- PHP: lenguaje de código abierto muy extendido y especialmente adecuado para el desarrollo Web gracias a que puede ser incrustado en HTML.
- PLC: controlador lógico programable, computador utilizado en la automatización industrial para automatizar procesos electromecánicos, tales como el control de maquinaria de una fábrica o líneas de montaje.
- Python: lenguaje de programación interpretado, de código abierto, y cuya filosofía favorece que la sintaxis sea un código fácilmente legible. Es orientado a objetos y multiplataforma.
- Router: dispositivo que proporciona conectividad a nivel de red, cuya principal función consiste en enviar o encaminar paquetes de datos de una red a otra, es decir, interconectar subredes, entendiéndose por subred un conjunto de dispositivos con distinta dirección IP.
- SAI: sistema de alimentación ininterrumpida, dispositivo que gracias a unas baterías puede proporcionar energía eléctrica por un tiempo limitado y durante un apagón eléctrico a todos los dispositivos que tenga conectados. También mejora la calidad de la red eléctrica de los dispositivos conectados filtrando las subidas y bajadas de tensión o los armónicos de la red.
- SCADA: software para ordenador que permite controlar y supervisor procesos industriales a distancia y en tiempo real. Suministra toda la información que se genera en el proceso productivo y permite su gestión e intervención.
- SGA: sistema de gestión de almacenes, programa informático destinado a gestionar la operativa de un almacén, cuyo término en inglés es WMS (Warehouse Management System).
- SOAP: (*Simple Object Access Protocol*) es un protocolo estándar para la comunicación a través de intercambio de datos XML entre dos objetos de diferentes procesos. Es un protocolo habitualmente empleado en los servicios Web y regulado por la organización W3C (*World Wide Web Consortium*).
- Switch: dispositivo lógico digital para la interconexión de equipos que opera en la capa de enlace de datos, y cuya función es interconectar dos o más segmentos de red, de manera similar a un router, pasando datos de un segmento a otro de acuerdo con la dirección MAC de destino de las tramas de la red.

## ***Glosario***

---

Unidad Lineal: sistema de transporte lineal que consta de un carro móvil que es accionado por una correa o cadena que es propulsada por un motor en uno de sus extremos.

WebLab: Laboratorio remoto en el que experimentos interactivos son accesibles a través de Internet.

Webmaster: persona responsable de la programación y mantenimiento de un sitio Web.

# Bibliografía

- Ab-Rahman M.S., Saupe M., Premadi A. y Jumari K. (2009). Embedded ethernet microcontroller for optical monitoring. En *IEEE - Space Science and Communication*, pp. 51-55, DOI: 10.1109/ICONSPACE.2009.5352672.
- Aimas M.S., Vanfretti L., Lovlund S. y Gjerde, J. (2014). Open source SCADA implementation and PMU integration for power system monitoring and control applications. En *IEEE - PES General Meeting*, pp. 1-5, DOI: 10.1109/PESGM.2014.6938840.
- Ajit Pal (2011). *Microcontrollers: Principles and Applications*. Ed. PHI. ISBN: 9788120343924.
- Alavudeen, A. (2008). *Computer Integrated Manufacturing*. Ed. PHI. ISBN: 9788120333451.
- Ali W.H., Zhang Y., Cofie P. y Zhang J. (2012). Digital controller desing for analog MIMO systems with multiple I/O delays. En *IEEE - Control and Decision Conference*, pp. 39-44, DOI: 10.1109/CCDC.2012.6244009.
- Alves G.R., García Zubia J. (2011) *Using remote labs in education*. Ed. University of Deusto. ISBN: 9788498303988.
- Angulo Usategui J.M., Romero S., Angulo I. (2006) *Microcontroladores PIC 2ª Parte. PIC 16F87X. Diseño práctico de aplicaciones*. Ed. Mc Graw Hill. ISBN: 9788448146276.
- Apoteka (2014) The automate dispenser for pharmacies. Descargado el 12/06/2014) de, <http://www.pharmacie-automatique.com>
- Aquilino Rodríguez (2008). *Comunicaciones Industriales, sistemas de regulación y control automático*. Ed. Marcombo. ISBN: 9788426715104.
- Barrett M., Oborn E., Orlikowski W.J. y Yates J. (2011). Reconfiguring Boundary Relations: Robotic Innovations in Pharmacy Work. En *MIT Open Access Articles, Organization Science*, pp. 1448-1466, DOI: 10.2307/23252317.
- Basante P. y García M.A. (2013). Distributed real-time Java centric architecture for industrial systems. En *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, pp. 27-34, DOI: 10.1109/TII.2013.2246172.
- Bassil Y. A. (2012). Comparative Study on the Performance of the Top DBMS Systems. En *Journal of Computer Science & Research*, Vol. 1, No. 1, pp. 20-31.

- Bogdan M. (2011). *Industrial Communications Systems*. Ed. CRC Press. ISBN: 9781439802816.
- Bolzern P. y Scattolini R. (2009). *Fundamentos de control automático*. Ed. Mc Graw Hill. ISBN: 9788448166403.
- CAN in Automation -CIA- Foundation (2014). Descargado el 17/08/2014 de <http://www.can-cia.org>.
- Chapuis C., Roustit M. y Bal G. (2010). Automated drug dispensing system reduces medication errors in an intensive care setting. *Cirt Care Medical*, Vol. 38, pp. 2275-2281, DOI: 10.1097/CCM.0b013e3181f8569b.
- Chen B. (2010). How to build industrial computers that resist vibration and shock. *Moxa Inc*.
- Clercq R., Piessens F., Schellekens D. y Verbauwhede I. (2014). Secure interrupts on low-end microcontrollers. En *IEEE - Application -specific systems, architectures and processors (ASAP)*, pp. 147-152, DOI: 10.1109/ASAP.2014.6868649.
- Cooley J. y Petrusich J. (2013). Delivering optimal real-time manufacturing intelligence. En *IEEE - Technology Management in the IT Driven Services (PICMET)*, pp. 1658-1688.
- De Lucía A. y Ferrucci F. (2007). *Modern Web Application Development*. Ed. Wiley - IEEE Press. ISBN: 9780470238103.
- Decotignie J.D. (2005). Ethernet-Based Real-Time and Industrial Communications. En *Proceedings of the IEEE*, Vol. 93, pp. 1102-1117, DOI: 10.1109/JPROC.2005.849721.
- Drumea A. y Svasta P. (2011). Designing low cost embedded systems with ethernet connectivity. En *IEEE - Design and Technology in Electronic Packaging (SIITME)*, pp. 217-220, DOI: 10.1109/SIITME.2011.6102721.
- Faiser M. y Sauter T. (2004). Standardization of industrial Ethernet - the next battlefield? En *Factory Communication Systems*, pp. 413-420, DOI: 10.1109/WFCS.2004.1377762.
- Federación de Distribuidores Farmacéuticos (Fedifar) (2013). Análisis sectorial de la distribución farmacéutica en España. En *Revista Federación de distribuidores farmacéuticos*, 2013.
- Fieldbus Foundation (2014). Descargado el 25/03/2014, de <http://www.fieldbus.org>.
- Firtman M. (2008). *AJAX, Web 2.0 para profesionales*. Ed. Alfaomega. ISBN: 9789701513286.
- Franklin B., O'Grady K., Voncina L., Popoola J. y Jacklin A. (2008). An evaluation of two automated dispensing machines in UK hospital pharmacy. En

- International Journal of Pharmacy Practice*, pp. 47-53, DOI: 10.1211/ijpp.16.1.0009.
- Fuchs-Kittowski F. Klassen N., Einhaus J. A. y Faust D. (2009). Comparative Study on the Use of Web 2.0 in Enterprises. En *International Conference on Knowledge Management and Knowledge Technologies*, pp. 372-378.
- Fuentes del Río S. (2006). Trazabilidad en los medicamentos. En *Acófar: Revista del Mundo Farmacéutico*, pp. 14-15.
- García Zubía J. y Trueba I. (2010). WEB 2.0 Pharmacy Robots. En *Remote Engineering & Virtual Instrumentation (REV)*, pp. 41-47, ISBN: 978-3-89958-540-7.
- García Zubía, J. y Trueba I. (2010). WEB 2.0 Control architecture for industrial robots. En *ETFA, 15th International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation*, pp. 8, ISBN: 978-1-4244-6849-2.
- García Zubía, J., López-de-Ipiña D. y Trueba I. (2010). WEB 2.0 Pharmacy robots. En *International Journal of Online Engineering*, Vol. 6, pp. 12-18, ISSN: 1861-2121.
- García Zubía J., López-de-Ipiña D., Alves G. y Orduña P. (2009). Addressing Software Impact in the Design of Remote Labs. En *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, pp. 4757-4767, DOI: 10.1109/TIE.2009.2026368.
- García Zubía, J., López-de-Ipiña D., Trueba I., Hernández U. y Orduña P. (2007). WebLab-GPIB at University of Deusto. En *Conference Remote Engineering & Virtual Instrumentation (REV)*, pp. 25-27.
- García Zubía, J., Trueba I., López-de-Ipiña D., Orduña P., Hernández U. y Saenz J. (2007). Requirements of useful remote labs. En *IFAC Symposium Cost Oriented Automation 8th - Affordable Automation Systems (COA)*, pp. 126-129, DOI: 10.3182/20070213-3-CU-2913.00022.
- Gillet D. y Salzmán C. (2011). *Smart Labs 2.0 for Engineering Education*. Ed. University of Deusto. ISBN: 9788498303988.
- Governor J. (2009). *Web 2.0 Architectures*. Ed. O'Reilly Media. ISBN: 9780596514433.
- Guerrero V. (2009). *Comunicaciones Industriales*. Ed. Mancorbo. ISBN: 9788426715746.
- Gupta S y Sharma S. (2005). Selection and application of advance control systems: PLC, DCS and PC-based system. En *Journal of Scientific & Industrial Research*, pp. 249-255, ISSN: 0975-1084.
- Gustavsson I., Nilsson K., Zackrisson J, García-Zubía J., Hernández U., Nafalski A., Nedic Z., Göll O., Machotka J., Pettersson M., Lagö T y Hakansson L. (2009). On objectives of instructional laboratories, individual assessment, and use of collaborative remote laboratories. En *IEEE Transactions on Learning Technologies*, pp. 4757-4767, DOI: 10.1109/TLT.2009.42.

## Bibliografía

---

- Hackworth J. y Hackworth F. (2003). *Programmable Logic Controllers: Programming Methods and Applications*. Ed. Prentice Hall. ISBN: 978-0130607188.
- Hernández (2010). *Introducción a los Sistemas de Control*. Ed. Prentice Hall. ISBN: 9786074428421.
- Hoffmann F. (2011) [Patente]: Dispositivo de iluminación por barra de diodos LED. ES 1067877.
- Huang C.G., Zhifeng Q., Ting Q. y Qingyun D. (2010). RFID-enabled pharmaceutical regulatory traceability system. En *IEEE - RFID-Technology and Applications (RFID-TA)*, pp. 211-216, DOI: 10.1109/RFID-TA.2010.5529930.
- IC Insights (2015). The MacClean Report 2015, IC Insights Inc.
- INTERBUS Club (2014). Descargado el 8/4/2014 de [http://www.interbus.de/index\\_en.html](http://www.interbus.de/index_en.html).
- Institute for Safe Medication Practices (ISMP), 2008. *Guidance on the Interdisciplinary Safe Use of Automated Dispensing Cabinets*.
- Jaiswal E. (2012). A Case Study on Quality Function Deployment (QFD). En *IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering*, Vol. 3, pp. 27-35.
- Jaworsky J. y Perrone P. (2001). *Seguridad en JAVA*. Ed. Pearson, ISBN: 9788420531342.
- Katshuhiko O. (2003). *Ingeniería de Control Moderna*. Ed. Prentice Hall, ISBN: 9788483226605.
- King N. y Anderson, N. (2003). *Cómo administrar la innovación y el cambio. Guía crítica para organizaciones*. Ed. Thomson Editores, ISBN: 9788497321860.
- KNAPP Warehouse logistics solutions (2014). Descargado el 10/3/2014 de <http://www.knapp.com>.
- Lai-Kow C. y Ming-Lu W. (2007). Quality Function Deployment: A Comprehensive Review of Its Concepts and Methods. En *Quality Engineering*, vol. 1, pp. 23-35, DOI: 10.1081/QEN-120006708.
- Larsson A. (2002). *Implementation outline for a real-time Ethernet switch*. Tesis doctoral, School of IDE, Suecia.
- Lori L. (2005) [Patente]. Sistema para controlar el funcionamiento de una instalación de iluminación o un equipo de señalización que tiene una pluralidad de puntos de luz tipo LED o similar, EP 1006759B1.
- Lyons R. (2010). *Understanding Digital Signal Processing*. Ed. Prentice Hall. ISBN: 9780137027415.
- Mahalik N. (2010). *Fieldbus Technology: Industrial Network Standards for Real-Time Distributed Control*. Ed. Springer. ISBN: 978-3540401834.

- Mahnke W., Leitner S. y Damm M. (2010). *OPC Unified Architecture*. Ed. Springer, 2010. ISBN: 9783642088421.
- Mandado P., Acevedo E. Fernández J. y Arnesto C. (2009). *Autómatas programables y sistemas de automatización*. Ed. Marcombo. ISBN: 9788426715753.
- Marshall P. y Rinaldi J. (2004). *Industrial Ethernet, 2<sup>nd</sup> Edition*. Ed. ISA. ISBN: 978-1556178924.
- McCrary S. (2013). *Designing SCADA Application Software: A practical approach*. Ed. Elsevier. ISBN: 9780124170001.
- Mengfei, Y. (2008). Enhancing Warehouse Performance by Efficient Order Picking. Tesis doctoral, *Erasmus Reserch Institute of Management*.
- Mikhaylov K. y Tervonen J. (2012). Evaluation of Power Efficiency for Digital Serial Interfaces of Microcontrollers. En *IEEE - New Technologies, Mobility and Security (NTMS)*, pp. 1-5, DOI: 10.1109/NTMS.2012.6208716.
- Mitsubishi Electric Inc. (2014). Descargado el 11/10/2014, de [http://www.mitsubishielectric.com/fa/products/cnt/plc\\_fx/items/index.html](http://www.mitsubishielectric.com/fa/products/cnt/plc_fx/items/index.html).
- Modbus Organization (2014). Descargado el 6/3/2014 de, <http://www.modbus.org>.
- National Instruments (2015). Descargado el 11/6/2015 de, <http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/es/nid/12511>.
- Norman S. (2002). *Sistemas de Control para Ingeniería*. Ed. Cecsca, ISBN: 9789702402541.
- O'Learly D. (2004). Enterprise Resource Planning (ERP) Systems: An empirical analisis of benefits. En *Journal of emerging technologies in accounting*, Vol. 1, No. 1, pp. 63-72.
- ODVA global association (2014). Descargado el 14/03/2014 de <http://www.odva.org>.
- Omron (2014). Descargado el 3/10/2014 de <http://www.omron.com>.
- OMS (2002). *Cómo desarrollar y aplicar una política farmacéutica nacional*. En Organización Mundial de la Salud. ISBN: 9243545477.
- OPC - OLE for Process Control Foundation (2013). Descargado el 08/12/2013 de, <https://opcfoundation.org>.
- O'Reilly T. (2009). *What is Web 2.0? ebook*. Ed. O'Reilly Media, ASIN: B008EQ0ZE8.
- Organization AS-Interface (2013). Descargado el 03/01/2013 de, <http://www.as-interface.net>.
- Ortt J.R. y Smits, R. (2006). Innovation management: different approaches to cope with the same trends. En *International Journal of Technology Management*, vol. 34, pp. 296-318, DOI: 10.1504/IJTM.2006.009461.

- Panetto H. y Cecil J. (2013). Information systems for enterprise integration, interoperability and networking. Theory and applications, En *Enterprise Information Systems*, pp. 1-6, DOI: 10.1080/17517575.2012.684802.
- Pascal P. (2002) [Patente]. Automatic medicament dispenser for pharmacies. WO2004036516.
- Piedrafita R. (2004). *Ingeniería de la Automatización Industrial*. Ed. Ra-Ma. ISBN: 9788478976041.
- Pippin J. (1991) [Patente]. Reconfigurable vertical conveyor dispenser. US5141128.
- Pratt I. y Zhong S. (2014). Bootloader design considerations for resource-constrained microcontrollers in RFID reader designs. En *IEEE - RFID Technology and Applications Conference (RFID-TA)*, pp. 50-55, DOI: 10.1109/RFID-TA.2014.6934199.
- PROFIBUS and PROFINET International (2014). Descargado el 21/03/2014 de, <http://www.profibus.org>.
- Python Software Foundation (2014). Descargado el 14/08/2014 de, <https://www.python.org/psf/>.
- Qinghua Z., Bo H., Guoquan C., Zhuan W., Dawei Y y Bo W. (2010). Development of pick-to-light communication middleware. En *IEEE - Industrial Electronics and Applications (ICIEA)*, pp. 1867-1901, DOI: 10.1109/ICIEA.2010.5515461.
- Qutaiba I., Basil M. y Ina'am K. (2013). *Modern Industrial Networks: Technologies, Architectures & Performance Evaluation*. Ed. LAP Lambert Academic Publishing. ISBN: 9783659482502.
- Ristov S., Ackovska N., Kirandziska V y Martinovikj D. (2014). The significant progress of the Microprocessors and Microcontrollers course for computer science students. En *IEEE - Information and Communication Technology, Electronics and Microelectronics (MIPRO)*, pp. 818-823, DOI: 10.1109/MIPRO.2014.6859679.
- Rodríguez A. (2012). *Sistemas SCADA*. Ed. Marcombo. ISBN: 9788426717818.
- ROWA Group (2012). Descargo el 7/06/2014 de, <http://www.rowa.ie/>
- Ruhle F., Braun H. y Ostermann H. (2009). Impact of Robotic Dispensing Machines in German Pharmacies on Business Performance Indicators. En *Libyan Journal of Medicine*, pp. 146-151.
- Russell J. (2007). Hart v Foundation Fieldbus - the facts and the real difference. En *Iceweb publications*.
- Sagi M., Atlagic B., Milinkov D., Bogovac B. y Culaja S. (2012). High-performance distributed SCADA system architecture. En *IEEE - Electrotechnical Conference (MELECON)*, pp. 152-155, DOI: 10.1109/MELCON.2012.6196402.

- Saren M.A. (1984). A classification and review of models of the intra-firm innovation process. En *R&D Management*, Vol. 14, nº 1.
- Scalia J. y Byres E. (2010). High Security Integration Using OPC. En *Invensys Systems Inc., white papper*, pp. 11-24, DOI: 10.1111/j.1467-9310.1984.tb00504.x.
- Scheer A. (2012). *CIM Computer Integrated Manufacturing*. Ed. Springer. ISBN: 9783642973147.
- Singh S., Singh B., Bhuvanewari G. y Bist V. (2014). Improved power quality switched mode power supply using buck-boost converter. En *IEEE - Power Electronics, Drives and Energy Systems (PEDES)*, pp. 1-6, DOI: 10.1109/PEDES.2014.7041981.
- SSI-SHÄFER logistics solutions (2014). Descargado el 20/03/2014 de <http://www.ssi-schaefer.de>.
- Suzumura T., Trent S., Tatsubori M., Tozawa A. y Onodera T. (2008). Performance Comparison of Web Service Engines in PHP, Java and C. En *IEEE Web Services, 2008. ICWS '08*, pp. 385-392, DOI: 10.1109/ICWS.2008.71.
- Tamura M. (2003) [Patente]. Commodity carrying-out apparatus of automatic vending machine. EP1357526A2.
- Tejada Domínguez F. (2011). Nuevos Avances en la Dispensación de Medicamentos En *revistaesalud.com*. ISSN-e 1698-7969, Vol. 7, nº 26.
- The PHP Group (2014). Descargado el 08/08/2014 de, <http://php.net>.
- Trueba I. (2009) [Patente]. Apparatus for the automatic dispensing and semi-automatic repositioning of commercial products. EP2287814A1.
- Trueba I. (2010) [Patente]. Instalación para la dispensación automática y reposición semiautomática de productos comerciales. ES2328656B1.
- Trueba I. (2011) [Patente]. Instalación para el cuidado, localización y gestión de artículos en un almacén. ES234912B1.
- Trueba I. (2010) [Patente]. Instalación para el reposicionamiento automático de productos comerciales y procedimiento de reposición. ES2340019A1.
- Trueba I. (2013). Soluciones Tecnológicas para la Mejora en la Eficiencia de las Bodegas. En *Expologística Panamá 2013 - Congreso de Logística y Transporte Multimodal*.
- Trueba I. (2014). Soluciones Tecnológicas para la Mejora en la Eficiencia de las Bodegas. En *Expologística Perú 2014 - Congreso de Logística y Transporte Internacional*.
- Unver H.O. (2011). System Architectures Enabling Reconfigurable Laboratory Automation Systems. En *IEEE Systems, Man. and Cybernetics*, pp. 909-922, DOI: 10.1109/TSMCC.2011.2107552.

## **Bibliografía**

---

- Valdivia C. (2012). *Sistemas de control continuos y discretos*. Ed. Paraninfo. ISBN: 9788428307444.
- Venkatraman S. (2012). Computer Integrated Manufacturing for Fully Automated Manufacturing. En *HCL Technologies, white papper*.
- Vyatkin V. (2013). Software Engineering in Industrial Automation: State-of-the-Art Review. En *IEEE Industrial Informatics*, Vol. 9, pp. 1234-1249, DOI: 10.1109/TII.2013.2258165.
- Wilson G. (2002). *Embedded Systems and Computer Architecture*. Ed. Newnes. ISBN: 9780750650649.
- Xu W., Chongyang S. y Song H. (2013). The research on improving the order picking efficiency in medical logistics area of CPL based on serial partition relay picking model. En *IJCSI International Journal of Computer Science*, Vol. 10, pp. 430.
- Yongjie. (2004) [Patente]. Multi-user light directed inventory system. US2004088229.
- Zhi-dan JIA, Shu-juan W., Xiao-dong L. y Hua Z. (2012). The Optimization on Pharmacy Automated Storage System Parameter based on Multi-objective Particle Swarm Algorithm. En *JCIT: Journal of Convergence Information Technology*, Vol. 7, No. 18, pp. 409-417, DOI: 10.1109/ICCASM.2010.5620771.
- Zurawski R. (2014). *Industrial Communication Technology Handbook*. Ed. CRC Press. ISBN: 9780849330773.

# **Anexo de patentes**





(11) **EP 2 287 814 A1**

(12) **EUROPEAN PATENT APPLICATION**  
published in accordance with Art. 153(4) EPC

(43) Date of publication:  
**23.02.2011 Bulletin 2011/08**

(51) Int Cl.:  
**G07F 11/32** (2006.01) **G07F 11/28** (2006.01)  
**G07F 5/18** (2006.01) **G07F 7/08** (2006.01)

(21) Application number: **09745864.0**

(86) International application number:  
**PCT/ES2009/000253**

(22) Date of filing: **12.05.2009**

(87) International publication number:  
**WO 2009/138538 (19.11.2009 Gazette 2009/47)**

(84) Designated Contracting States:  
**AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO PL PT RO SE SI SK TR**  
Designated Extension States:  
**AL BA RS**

(71) Applicant: **Microtiker, S.l.**  
**48950 Erandio Vizcaya (ES)**

(72) Inventor: **TRUEBA PARRA, Iván**  
**E-48950 Erandio (Vizcaya) (ES)**

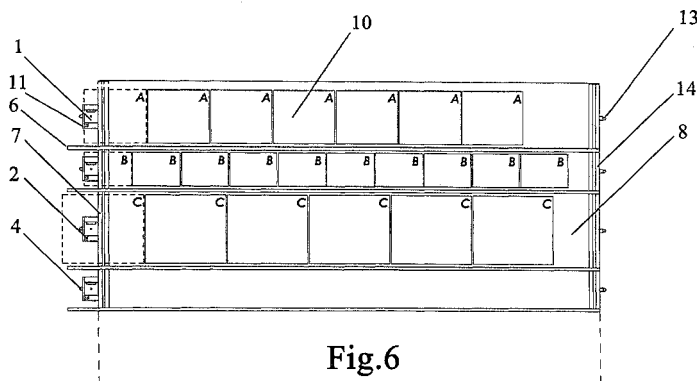
(30) Priority: **14.05.2008 ES 200801388**

(74) Representative: **Cabinet Plasseraud**  
**52, rue de la Victoire**  
**75440 Paris Cedex 09 (FR)**

(54) **APPARATUS FOR THE AUTOMATIC DISPENSING AND SEMI-AUTOMATIC REPOSITIONING OF COMMERCIAL PRODUCTS**

(57) The invention relates to an installation for the automatic dispensing and semiautomatic replacement of commercial products, of the type of products presented in parallelepiped boxes, such as certain pharmaceutical, electronic or food products; formed by at least one inclined shelf (8) on which the products (10) to be dispensed are located, which products are separated into lanes by adjustable guides (6) and supported one after the other as they slide over the shelf (8); at least one individual dispensing element for each lane; each dispensing element being provided with autonomous control electronics, a presence detection sensor (2), an electromagnetic actuator device (1), a front light indicator (4), a stop (11) for braking the products (10) on the inclined

shelf (8) and connectors for the interconnection thereof with other dispensing elements; and at least one light indicator (13) for each lane, located at the rear part of the shelf (8), linked with a bar code reader for the bar code located on each product (10); all this such that the control electronics generates the activation of the electromagnetic actuator device (1), which raises the corresponding product (10) to be dispensed above the stop (11), causing its exit from the lane and the positioning, by gravity, of a new product on the actuator device (1); whereas the rear light indicator (13), according to the information provided by the bar code reader (26), optically notifies the lack of products in a lane, the replacement thereof and/or breakdowns.



**EP 2 287 814 A1**

## Description

### Field of the Art

**[0001]** The present invention relates to an installation for the automatic dispensing and semiautomatic replacement of commercial products presented in the format of a parallelepiped box, with a square or rectangular base, such as certain pharmaceutical, electronic or food products, and is indicated for distribution warehouses as well as specialized stores or pharmacies, it being possible to select a set of items from a computer and obtain them at a collection point in a reduced time and replacing the material extracted with the aid of light indicators.

### Background of the Invention

**[0002]** Currently, in certain specialized stores such as pharmacies, electronic warehouses or hardware stores, the customer requests certain products from a qualified salesman who subsequently goes through the warehouse or shop looking for the items, which are arranged in shelves or cabinets. The form of operation of many distribution warehouses is similar, the orders of the customers, which in this case are the stores, are collected and several qualified operators must go through the warehouse, looking for the requested products until completing each order.

**[0003]** There are robotic solutions for the automation of these product collection processes which are aimed at distribution warehouses rather than at specialized stores. Solutions of this type consist of Cartesian robots which move on horizontally and vertically located guides in front of the shelves on which the items are located. The manipulator robot performs a movement on these guides until being placed in front of the selected item, in order to extract or deposit it.

**[0004]** These robots can be slow for certain warehouses with a large volume of items being dispensed, since the robot can only extract products one by one, until completing the order and depositing them at the collection point. The installation of these robots in specialized stores or pharmacies is complex due to the large volume, high power consumption and weight of the Cartesian coordinate manipulator robot. Likewise, it should be emphasized that these robots require a complex and expensive maintenance, as well as a shielding, by means of windows or other means, of the operating area of the robotic manipulator, due to the risk of injuring or causing physical damage in the event of striking a person during the movements thereof. Due to the safety installation inherent to manipulator robots of this type, it is also usually necessary for the store or warehouse to have a safety stock of certain items, preventing a possible breakdown of the manipulator robot since, for safety reasons, there is no access for people to the stock manipulated by the robot.

**[0005]** Other technological solutions for aiding in the

warehouse material dispensing and replacement process consists of using PDA-type hand-held portable computers, by means of which the operator can access a database showing information relating to where the products are located inside the warehouse.

**[0006]** United States patent number 5,141,128 discloses a type of vertical dispenser which can deposit products on a conveyor belt, such that multiple vertical dispensers can be operated simultaneously in an installation in order to deposit the products. This system requires a mechanism occupying a volume greater than the size of the products which are housed and the replacement must be carried out manually without the aid of indicator devices, its installation in specialized stores being very complex. Other patents with applications for dispensing products, such as European patent EP 1 357 526 A2, disclose a system in which the products of each type are housed on a horizontal shelf arranged between separators and which is operated by a mechanism which moves until operating the shelf to carry out the exit of a product. This system must dispense items of various types individually, since it has a single operating element which moves over the various horizontal shelves. Most of the dispensing systems with these features are aimed at the development of slow vending-type dispensing machines than at the automation of automatic storage processes with large product volume and speed requirements.

### Technical Problem Considered

**[0007]** It would therefore be desirable in distribution warehouses and specialized stores to have a type of automatic installation that was capable of dispensing, simultaneously and at a high speed, all the items requested by a customer. Furthermore, this installation must be safe for operators in order to be able to always manually access the automated warehouse, without requiring safety stocks in the event of breakdowns and it must not need a large volume of space, being able to be installed in a distributed and modular manner; with a simple and cost-effective maintenance, without needing highly qualified technicians; and it must be ecological, with a low power consumption and reduced weight. This type of installation must be configurable to the dimensions and particularities of each type of product and warehouse or store. It must also have semiautomatic systems for aiding in the replacement of the items which are automatically extracted.

### Description of the Invention

**[0008]** The present invention discloses a type of installation based on mechanical/electronic devices which are distributed along inclined shelves having adjustable lanes to locate each type of item. A light indicator for each lane is placed at the rear part of the shelf, which light indicator is used to show the location of each product in

the replacement process and notifies the lack of products in a lane. The dispensing devices have control electronics allowing them to be provided with a certain degree of intelligence, each device being able to receive the complete data of each order from a computer and dispensing the requested items of each type quickly and simultaneously.

**[0009]** Each dispensing device is provided with individual control electronics, a pushing mechanism based on an electromagnetic device, a presence detection sensor, a display LED and connectors for the interconnection to other dispensing devices by means of cables. These elements are located at the front end of a shelf which is inclined, such that all the products, with a square or rectangular shape, can slide over it by the effect of gravity. The first product introduced in the shelf slides until abutting with a supporting part arranged at the end area of the dispensing element. The rest of the products introduced in the same lane are placed one after the other. There are guides used to separate each type of product which is handled by a different dispensing device. The position of the guides and that of the dispensers can be easily adjusted to adapt to the size characteristics of the various types of products.

**[0010]** When the dispensing process for dispensing a product is initiated, the operating element is activated, making the product rise above the stop in order to be extracted. The following product of the same lane is located by the effect of gravity in the gap freed up by the product which has been extracted. The correct extraction of each item can be verified by means of the presence detection sensor placed in the dispensing device. It is also possible to detect breakdowns and the absence of products in the lane, which events are shown by the display LED diode of the dispenser or by the LED diode located in the rear area of the inclined shelf.

**[0011]** Since each dispenser has intelligent and individual control electronics integrated therein, it is not necessary to use industrial automatons or centralized control systems, facilitating the installation of the dispensers in different shelf levels or in cabinets distributed over an installation. All the types of products can be automatically extracted at the same time by the various dispensers, being deposited on a conveyor belt taking them to a collection point. The inclined shelves with the dispensers can be installed in facing cabinets so that the products fall towards one and the same conveyor belt and ramps can be arranged for braking the fall of each product from the location of the dispenser to the height of the conveyor belt.

**[0012]** To initiate the dispensing process, a computer sends a command which is received by all the dispensing elements simultaneously.

**[0013]** To replace the products on the inclined shelves, the operator identifies a product by using a bar code reader which sends the code of the product to the LED control electronics located in the rear area of each shelf and lights up the LED diode located in the lane corresponding

to the product to be replaced in blinking mode. Thus, the operator directly sees in which lane that product must be replaced.

**[0014]** This same LED diode lights up permanently when a lane of products has been depleted and changes to blinking mode when the bar code reader detects that this product is going to be replaced.

**[0015]** In addition to the LED diode placed in the rear area of the shelf for aiding in the replacement, there is another LED diode per lane which is placed in the front area of the dispensing element which can also be used to indicate the location of a product to be replaced and a breakdown status of the dispenser. This LED diode can also be used for aesthetic functions when its lighting up is combined with that of the rest of the LED diodes of the dispensers of the installation. This aesthetic function is suitable for the installations of the robot in retail stores. In these installations, a TFT screen can be placed in the upper area of the cabinet with commercial images or videos.

**[0016]** To facilitate the installation process and the maintenance tasks, both the individual dispensers and the rear LED diodes for aiding in the replacement are placed in grooved metal structures which are independent of the shelves on which the products are located. These structures, with the dispensers or LEDs placed and interconnected, can be quickly installed on a shelf. In the case of a maintenance task, a dispenser or LED which has broken down can be individually extracted from the grooved structure, without affecting the rest of the installation during the repair.

**[0017]** The products in the lanes of the shelves can be replaced both through the area in which the dispensing element is located and from the rear area in which the replacement LED diode is located, the latter being the preferred option. In this replacement area of the shelf there is also a space for placing magnetic labels containing a description of the characteristics of the item in each location of the shelf.

**[0018]** It is also possible to initiate the dispensing process from a remote access point, directly accessible by the customers of the store by means of a touch screen. This dispensing process which is only used for items of a determined type is completed after paying the amount for the selected items with the touch screen using coin slot, bill slot or credit card type payment means.

#### Brief Description of the Drawings

**[0019]** The attached drawings illustrate, by way of a nonlimiting example, a preferred embodiment of the installation for the automatic dispensing and semiautomatic replacement of commercial products object of the invention. In said drawings:

Figure 1 is a side view of the mechanical and electronic dispensing device.

Figure 2 is a plan view of the mechanical and elec-

tronic dispensing device.

Figure 3 is a perspective view of the installation of dispensing devices on inclined shelves with various products.

Figure 4 is a front perspective view of the inclined shelf, showing the lanes for products and the dispensing elements installed and interconnected.

Figure 5 is a side view of the trigger and the light indicator for replacement placed on an inclined shelf.

Figure 6 is a plan view of the triggers and the light indicators for replacement on an inclined shelf.

Figure 7 is an enlarged view of detail VII indicated in Figure 5 which shows the installation process for installing the dispensing element on the inclined shelf.

Figure 8 is an enlarged view of detail VIII indicated in Figure 5 which shows the installation process for installing the light indicator for replacement on the inclined shelf.

Figure 9 is a side view of the activated trigger, dispensing a product of a lane.

Figure 10 is a diagram of the installation object of the invention.

Figure 11 is a side view of an installation with multiple shelves with dispensing and replacement elements and a conveyor belt.

#### Detailed Description of the Drawings

**[0020]** Figure 1 shows a side view of the mechanical/electronic device in charge of dispensing a type of product in the installation. Figure 2 shows a plan view of the same device. The device has control electronics (20) capable of receiving, by means of a feed and communications bus, the data of each order, to extract the products. The extraction mechanism is based on a solenoid (1) which, upon receiving an electric impulse, moves a rod (12); such that the product located above it is driven, surpassing a stop (11) for braking the products on the shelf. The rod has a spring which serves for the latter to return to its rest position when the electric impulse ends and for another product to be able to be located above the dispensing mechanism by the action of gravity. The electronics and the operating mechanism are located on an electronic card (3) having holes (19) which are used to attach the device to the structure. A presence detection sensor (2) is used to verify the correct extraction of the item, to detect the absence of products announcing the need for replacement by means of a front LED (4) and to detect possible breakdowns in the event that the product is not dispensed. A front LED (4) can be used to show breakdowns of the dispenser or a lack of products in the lane and also for aesthetic functions when its lighting up is combined with LED diodes located in other dispensers. All the control functions are carried out by the integrated electronics (20) in the dispenser and two connectors (5) located on both sides of the electronic card (3) are used to carry out the interconnection of the feed and commu-

nications bus between the dispensers on the shelves.

**[0021]** Figure 3 shows the installation of various dispensing devices on an inclined shelf (8). The products (10) of a different type are placed in various lanes using separators (6) between them. The position of the separators (6) and of the dispensing elements can be easily adjusted to the size particularities of each product as a result of using metal structures basically formed by grooved sections (7) on which the position of the elements is adjusted. It is possible for one and the same type of item to be located in more than one channel. In this case, the different dispensing elements in charge of handling this product are coordinated with one another by means of a communications bus (9) to complete the requested order. The dispensing devices are intercommunicated by means of a bus (9) through which the control communications and the feed signals for the electronics, the sensors and the electromagnetic triggers are transmitted. Figure 4 shows a front perspective view of an inclined shelf (8) with various dispensing elements installed and intercommunicated by means of the feed and communications bus (9).

**[0022]** Figure 5 shows a side view of the dispensing element and a LED diode (13) for the replacement of the products. The details of the installation of the dispenser (detail VII) and of the LED (13) for aiding in the replacement (detail VIII) are shown in an enlarged view in Figures 7 and 8. Figure 6 shows a plan view of the dispensers, the recharge LEDs (13) and various types of products (10) located on a shelf (8). Of the products (10), those identified with references A and B in this figure are at rest, abutting with the dispensing element and the first product C is being dispensed after an activation of the solenoid (1), as a result of receiving an order for product C from the main computer. The front product C has been lifted by the action of the solenoid (1) which has driven the rod (12) and surpassed the stop (11) in order to drop it to a conveyor belt carrying it to the collection point.

**[0023]** Figure 7 (detail VII) shows the form of installation of the dispensing elements on the inclined shelves (8). The dispensers are placed in the grooved supporting structure (7) which is attached to the shelf (8) with angle brackets (15). Each dispensing element can be adjusted in the grooved structure using sliding screws (17) which are introduced through the holes of the electronic card of the dispenser (19). A grooved structure similar to that indicated with reference number (7) is also used to fix the position of the separating element (6) between products (10) in the end area of the shelf (8). As a result of the independent grooved structure (7) of the shelf (8) which contains the interconnected dispensing elements, the installation process for installing the elements in charge of the automation of the product extraction process can be carried out after the assembly of the cabinets and the shelves in the installation.

**[0024]** Figure 8 (detail VIII) shows the installation of the rear LED diode (13) of the lane used to facilitate the replacement of the products and also to indicate a lane

without product or a breakdown. The rear LEDs (13) are assembled in a structure (14) which, like the structure (7), is formed by a grooved section which is installed on the shelf (8) by means of angle brackets (16). The sliding screws (18) are used to adjust the LED in the grooved structure until locating it in the position of each lane of product. The flat metal part (23) is used to place magnetic labels which allow showing the name and characteristics of each product.

**[0025]** To replace the products, the operator takes the product (10) to be replaced and used a bar code reader (26) which identifies the product (10) and sends the code to the LED control electronics (21) located on each shelf. This LED control electronics (21) determines the LED diode (13) which must light up in blinking mode to indicate to the operator the lane corresponding to said product (10) which is to be replaced.

**[0026]** In the event that the LED diode (13) of the lane is permanently lit up, showing a notification of complete lack of products in the lane, an event which is detected by means of the presence sensor (2) of the dispenser, it passes to blinking mode when the bar code reader indicates a replacement operation in that lane.

**[0027]** In some installations in which the products cannot be replaced through the rear area of the shelf (8) due to the structure of the cabinet with the inclined shelves (8) being located against a wall, the replacement process can be carried out from the product dispensing area, i.e., from the position in which the dispensing element is located. In these installations, the LED diode (4) of the dispensing element blinks each time that the bar code reader determines that a location in which a product must be placed coincides with that of said dispensing element.

**[0028]** The dispensing process for dispensing a product can be observed in Figure 9. The individual control electronics (20) of the dispenser receives an order from the central computer of the installation which, in the event of containing any product (10) to be dispensed located in its lane, causes the activation of the solenoid (1) which creates an electromagnetic field causing the attraction of the rod (12). The exit of the rod through an end of the body of the solenoid causes the raising in height of the product (10) identified as (A1) above the stop (11), such that this product (A1) is released and the fall towards the conveyor belt, passing through the braking ramps, starts. The following product (10) of the lane, identified in Figure 9 as A2, moves by the action of gravity until occupying the position left by first product (A1) dispensed. Before the new product has occupied the space of the product which has been dispensed, the rod (12) has returned to its rest position as a result of the action of the spring (24).

**[0029]** Figure 10 shows a diagram of an automation process with the system object of the invention formed by several cabinets (36) provided with inclined shelves in which the dispensing elements and the light indicators for the replacement are placed. The products dispensed from each cabinet (36) with inclined shelves (8) fall to a conveyor belt (27) taking them to the collection point of

the products (35). The dispensing commands can be made from the computer of the installation (31) which is handled by the operator of the installation or also from a remote access point controlled by means of a touch screen (33). As a result of the complementary system of the touch screen (33) and a set of payment means such as a coin slot, a bill slot or a credit card reader (34), it is possible for the customers of the stores to be able to directly access products of a certain type after paying for the items and without needing the intervention of the operator of the installation.

**[0030]** To replace the products in the specific locations of the inclined shelves, there is a bar code reader (26) located next to each structure of shelves (8) which is used by the operators to identify the product (10) which is to be replaced. The bar code reader (26) sends a datum with the code of the already identified product (10) to the LED control electronics (21) located on each shelf (8) which, after interpreting the datum, is in charge of activating the rear LED diode (13) which must light up in blinking mode, showing to the operator the lane of the type of product in which the product (10) to be replaced must be introduced.

**[0031]** The LED control electronics (21) is connected to the rear LEDs (13) by means of a data bus (22), see Figure 8. Each cabinet with shelves (8) has a cabinet unit (30) in which the connection of the data buses used for the interconnection of the dispensing elements and light indicators of the various shelves, as well as the installation of the power supplies of the system, are carried out.

**[0032]** A TFT screen (32) located in the upper area of each cabinet (36) serves to show the operation status of the installation and also to show commercial information, in those installations in which the robotic cabinets (36) are placed for public use.

**[0033]** Figure 11 shows a side view of an installation with two cabinets (36) of inclined shelves (8) placed facing one another, such that all the products (10) extracted with the dispensing elements fall to one and the same conveyor belt (27) in charge of taking the products (10) to the collection point. It is observed that the communications buses (28 and 29) in charge of communicating the feed and control signals between the dispensers and luminous LEDs located in the different shelf levels. The braking ramps (25) are used to brake the fall of the products from the highest locations to the conveyor belt. It should also be indicated that the products with the largest volume and weight of the installation are located in the shelves with a lower height and, therefore, closer to the conveyor belt (27), and they are shelves which may require less inclination due to the greater push exerted by the weight of the products (10).

## 55 Claims

1. An installation for the automatic dispensing and semi-automatic replacement of commercial products, of

- the type of products presented in parallelepiped boxes, such as certain pharmaceutical, electronic or food products; **characterized in that** it contains at least one inclined shelf (8) on which the products (10) to be dispensed are located, which products are separated into lanes by adjustable guides (6) and supported one after the other as they slide over the shelf (8); at least one individual dispensing element for each lane; each dispensing element being provided with autonomous control electronics (20), a presence detection sensor (2), a preferably electromagnetic actuator device (1), and a stop (11) for braking the products (10) on the inclined shelf (8); all this such that the control electronics (20) can generate the activation of the electromagnetic actuator device (1), which raises the corresponding product (10) to be dispensed above the stop (11), causing its exit from the lane and the positioning, by gravity, of a new product on the actuator device (1).
2. The installation for the automatic dispensing and semiautomatic replacement of commercial products according to the previous claim, **characterized in that** the individual dispensing element of each lane incorporates a front light indicator (4), and connectors (5) for the interconnection thereof with other dispensing elements; and **in that** there is at least one light indicator (13) for each lane, located in the rear area of the shelf (8), linked with at least one bar code reader (26) for the bar code located on each product (10) and with control electronics (21) of said light indicators (4 and 13), such that, preferably, the rear light indicator (13), according to the information provided by the bar code reader (26) to the control electronics (21), optically notifies the location of the lane in which said product (10) must be replaced; also notifying a breakdown of the dispensing element or a complete lack of products (10) in a lane.
  3. The installation for the automatic dispensing and semiautomatic replacement of commercial products according to claim 1, **characterized in that** it incorporates at least one central computer (31) and/or a remote access point, preferably controlled by means of a touch screen (33), with a payment module (34); such that the automatic dispensing process can be initiated from the computer (31) handled by the operator or operators in charge of the installation, or by customers of the installation which they access through the touch screen (33) after paying the required amount through the module (34).
  4. The installation for the automatic dispensing and semiautomatic replacement of commercial products according to claim 1, **characterized in that** the autonomous control electronics (20) of each dispensing element allows simultaneously processing the complete request for the dispensing of a series of different products (10) of an order, by means of the command supplied by the autonomous control electronics (20) of each of the different dispensing elements of the different products (10) to be dispensed.
  5. The installation for the automatic dispensing and semiautomatic replacement of commercial products according to claim 1, **characterized in that** both the individual dispensing element of each lane and the adjustable guides (6) are assembled on an independent grooved supporting metal structure (7) allowing the installation thereof on the corresponding inclined shelf (8) and the positional adjustment of each dispensing element and of each guide (6) to the size and weight particularities of the products (10) to be dispensed.
  6. The installation for the automatic dispensing and semiautomatic replacement of commercial products according to claim 1, **characterized in that** the rear light indicators (13) are assembled on an independent grooved supporting metal structure (14) allowing the installation thereof on the corresponding inclined shelf (8) and the positional adjustment of each rear light indicator (13) and of each guide (6) to the size and weight particularities of the products (10) to be dispensed.
  7. The installation for the automatic dispensing and semiautomatic replacement of commercial products according to claim 1, **characterized in that** the dispensing elements of the different lanes determined on the inclined shelves (8) are intercommunicated with one another through one and the same feed and data bus (6).
  8. The installation for the automatic dispensing and semiautomatic replacement of commercial products according to claim 1, **characterized in that** the selective incorporation of a ramp (25) for braking the products (10) when so required has been provided at the outlet of each lane.
  9. The installation for the automatic dispensing and semiautomatic replacement of commercial products according to claim 1, **characterized in that** it has at least one conveyor belt (17) for taking the products (10) exiting the dispensing elements to a collection point (35).
  10. The installation for the automatic dispensing and semiautomatic replacement of commercial products according to claim 1, **characterized in that** the incorporation of a screen (32) which allows displaying information about the operation status of the installation and other complementary information has been provided at the upper area of each cabinet (36), formed by a set of inclined shelves (8).

11. The installation for the automatic dispensing and semiautomatic replacement of commercial products according to claims 1 and 2, **characterized in that** the bar code reader (26) for the bar code of the different products (10) located in the lanes is arranged in relation to each set of inclined shelves (8), said reader (26) being linked with the control electronics (21) of the light indicators (4 and 13); such that the light indicators (4 and/or 13) indicate situations such as the location of the lane to which a product (10) to be replaced must be incorporated, which product has been previously identified with the bar code reader (26), the lack of products (10) in a lane, its depletion, failures in the dispensing processes or similar situations, it even being possible to combine the lighting up of the different light indicators (4 and 13) for aesthetic reasons.

5

10

15

20

25

30

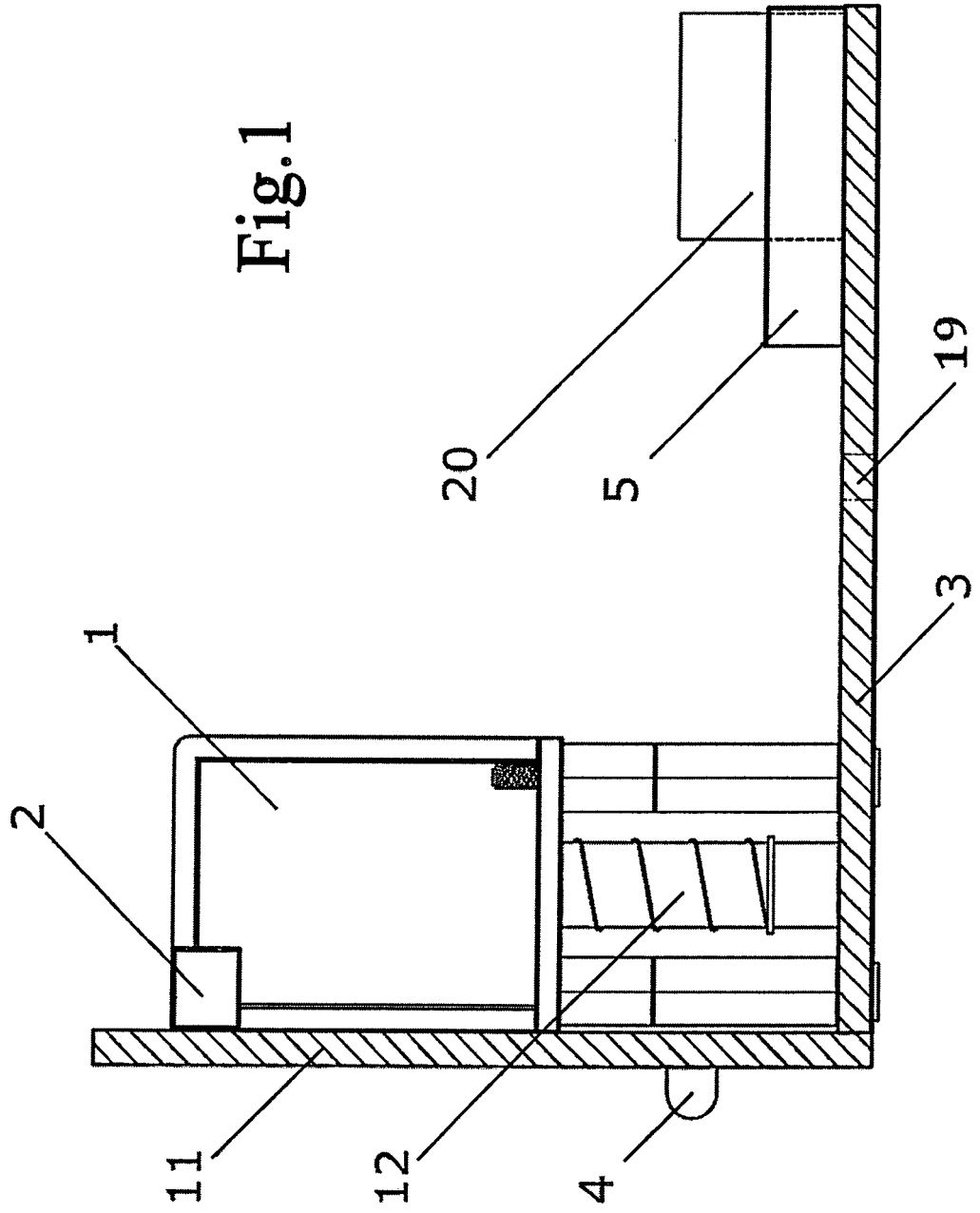
35

40

45

50

55



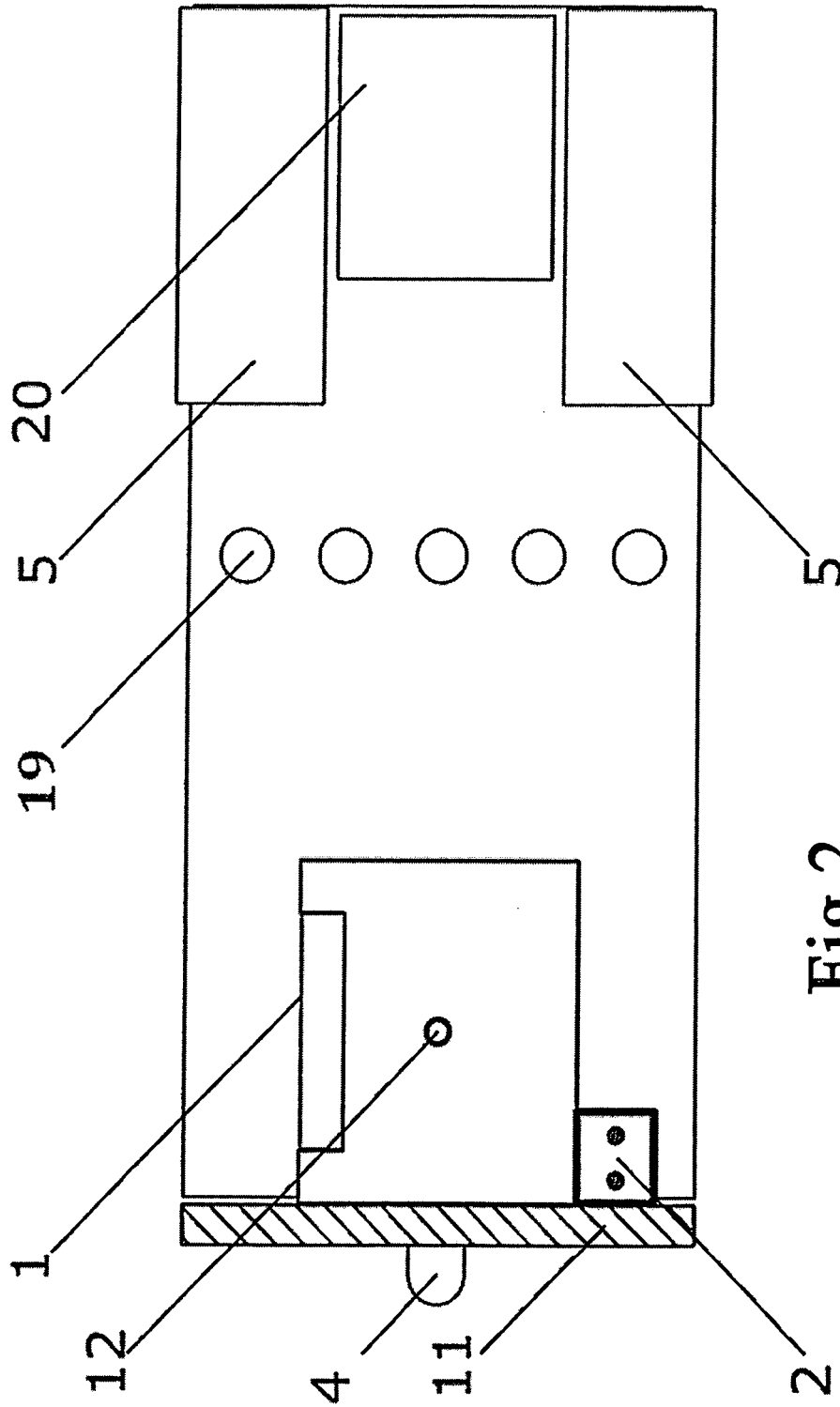


Fig.2

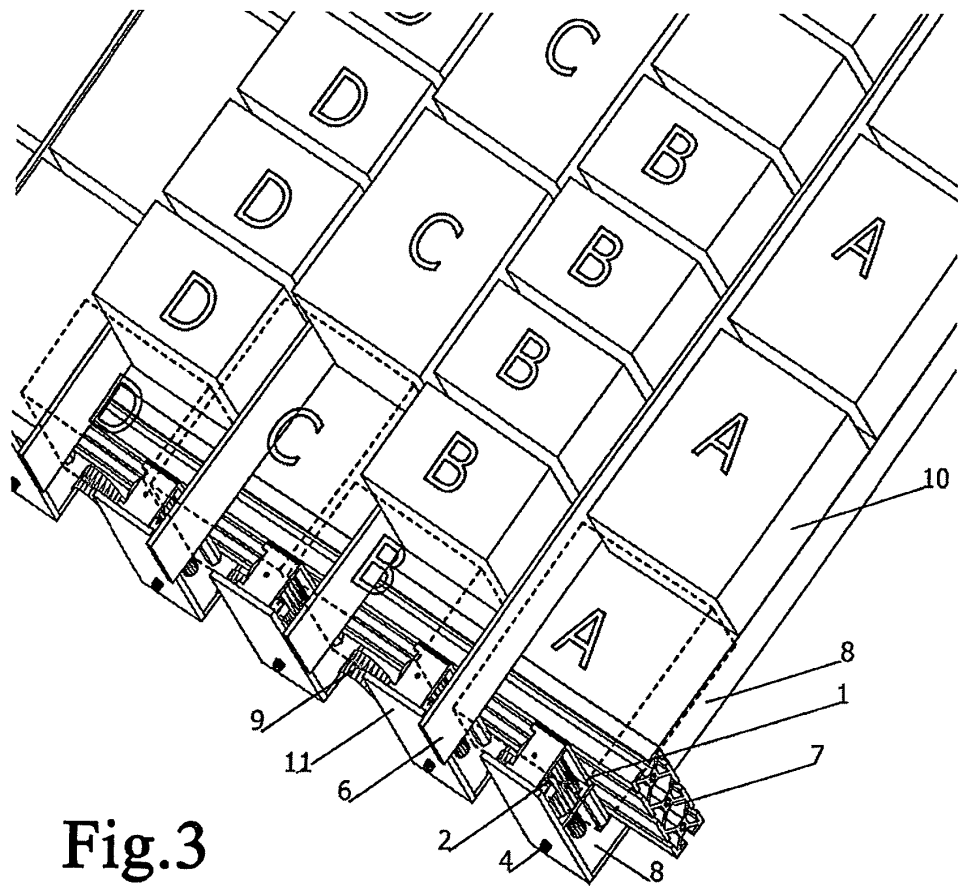
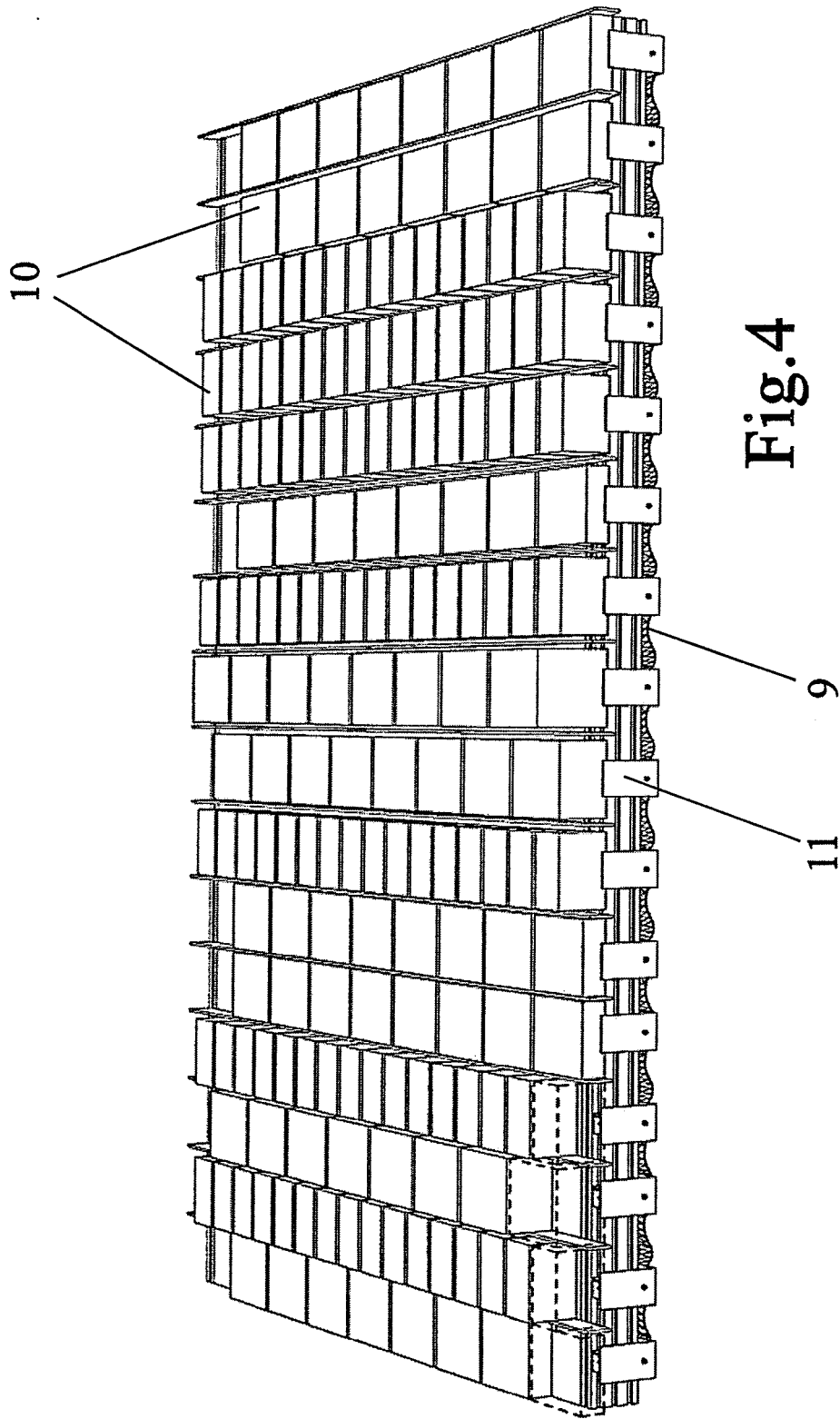


Fig.3



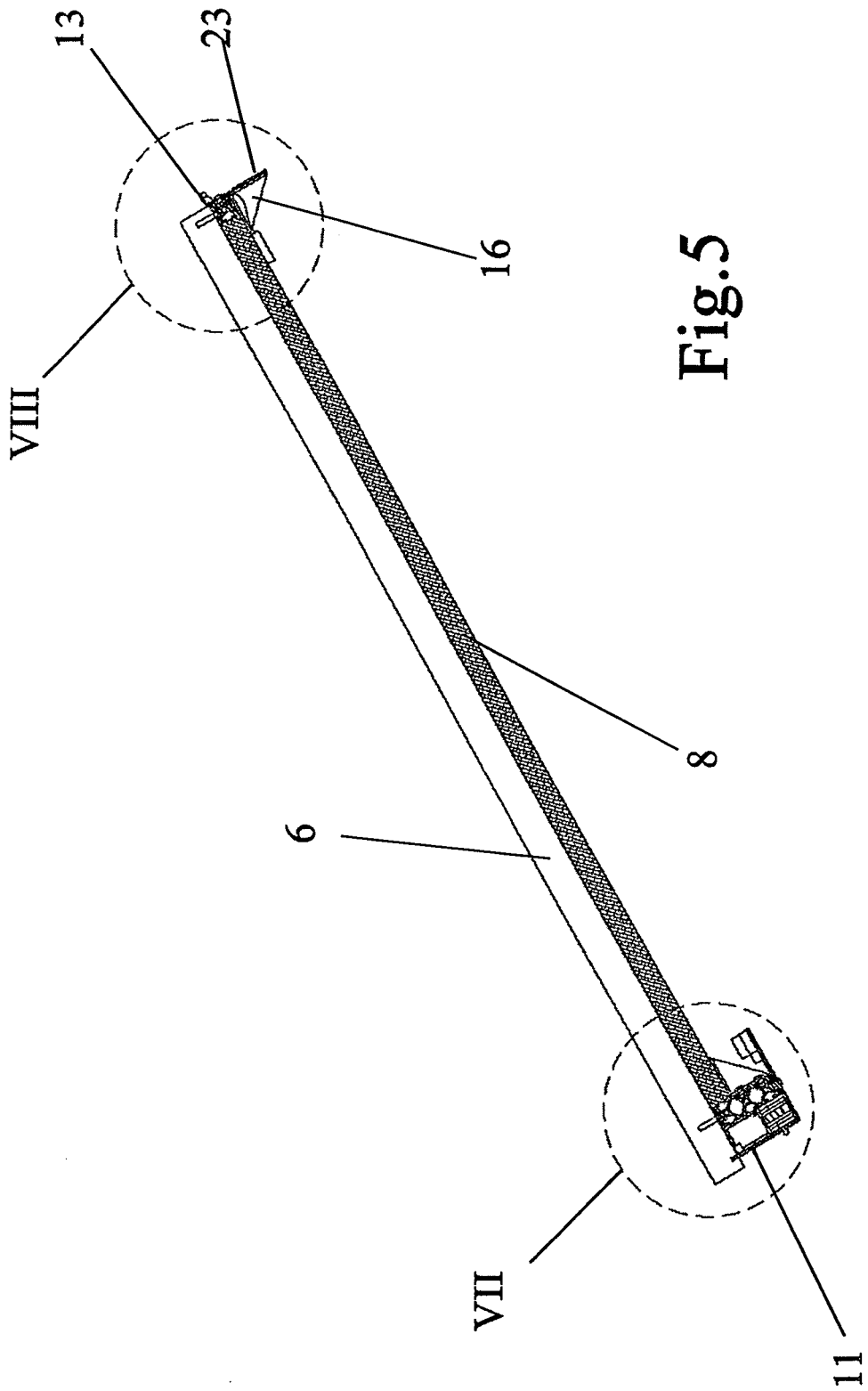


Fig.5

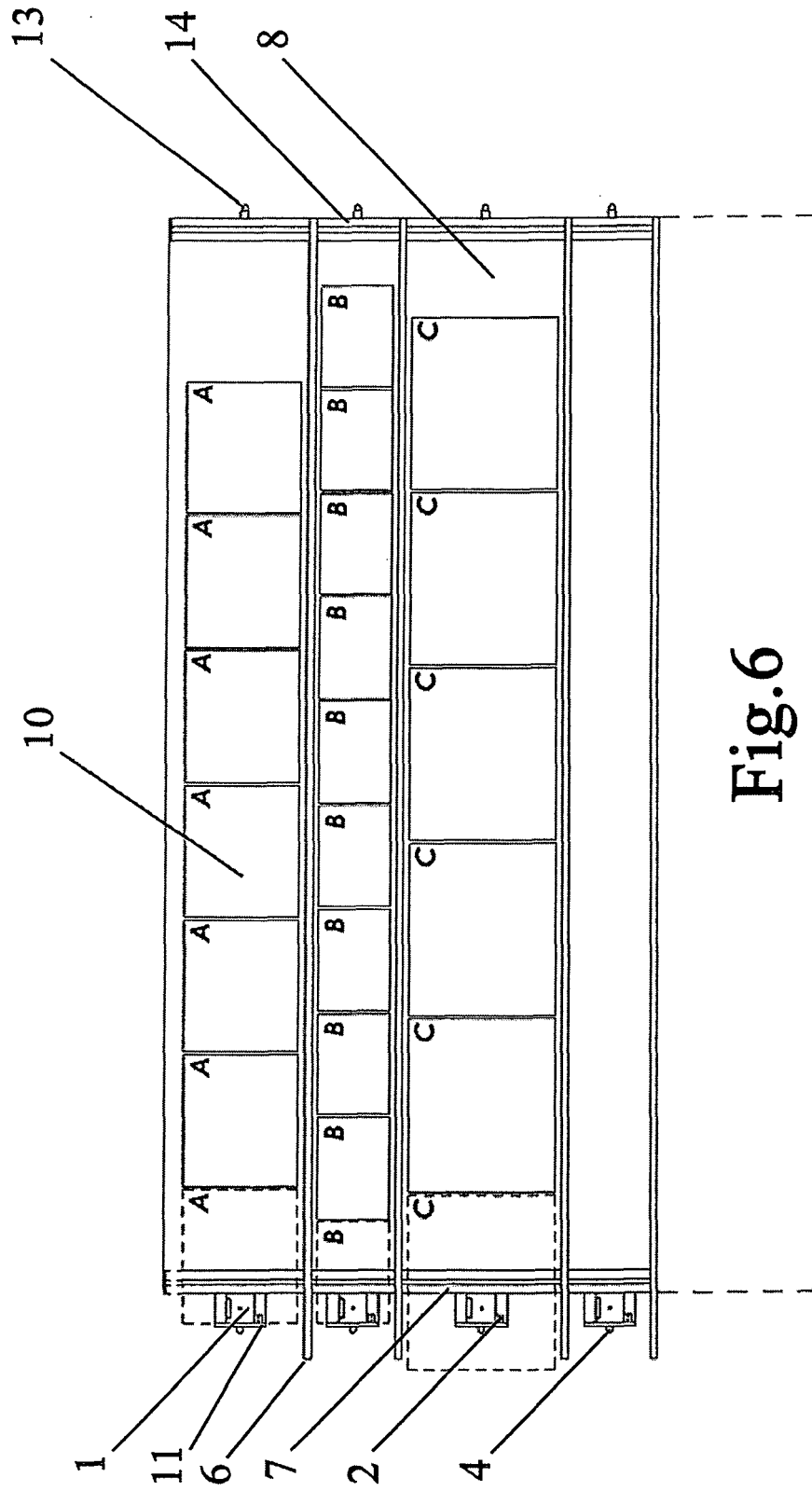
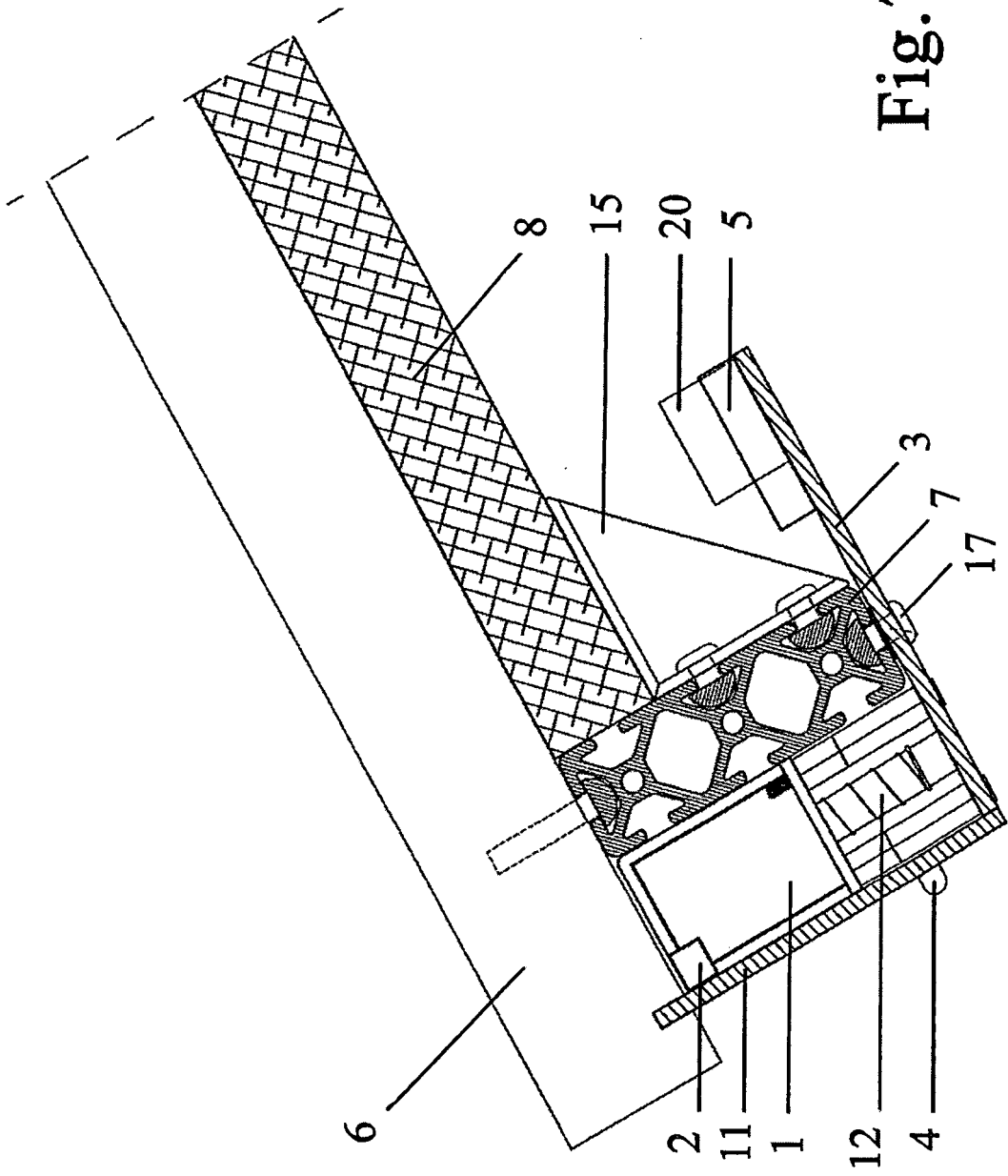


Fig.6



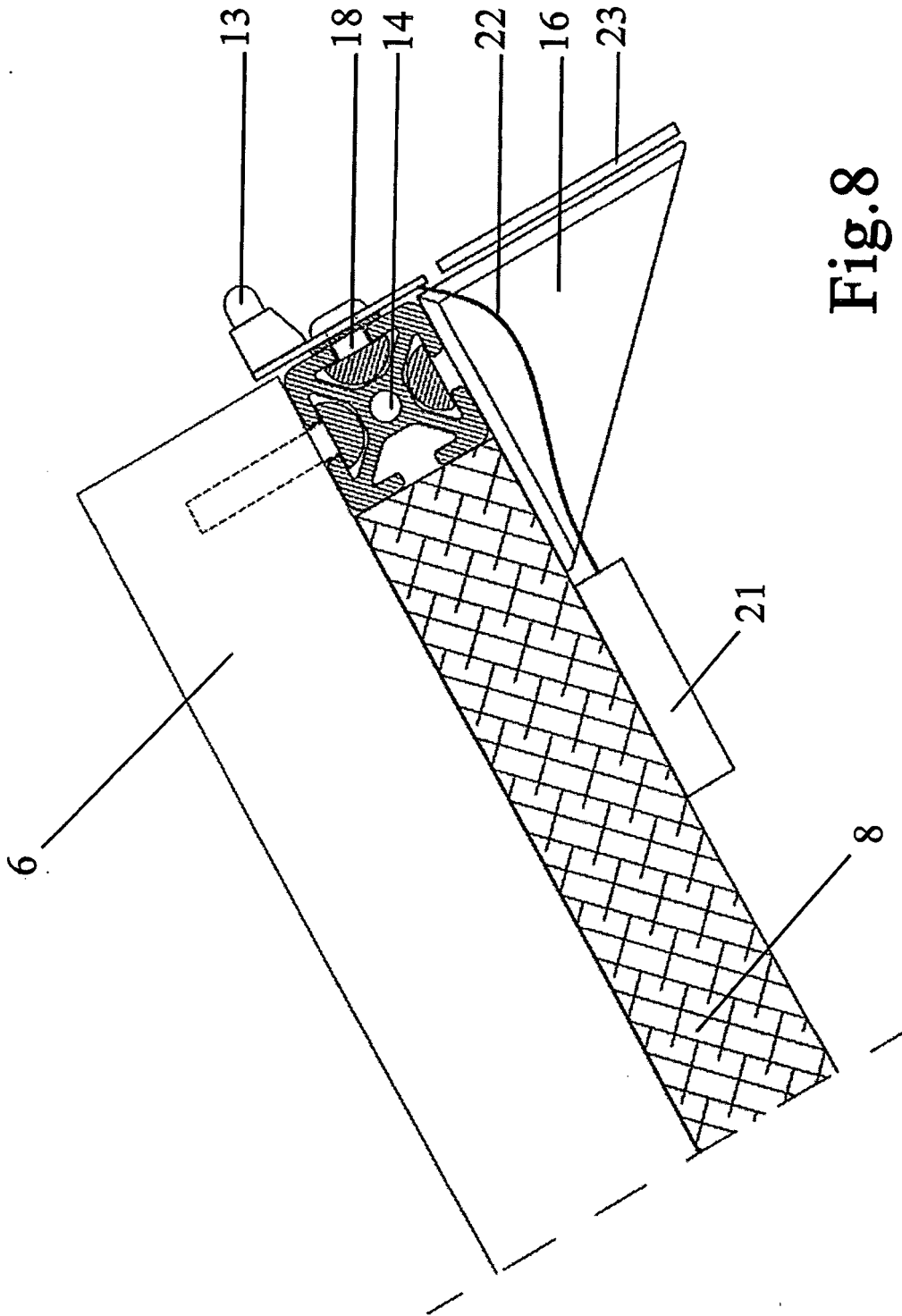


Fig. 8

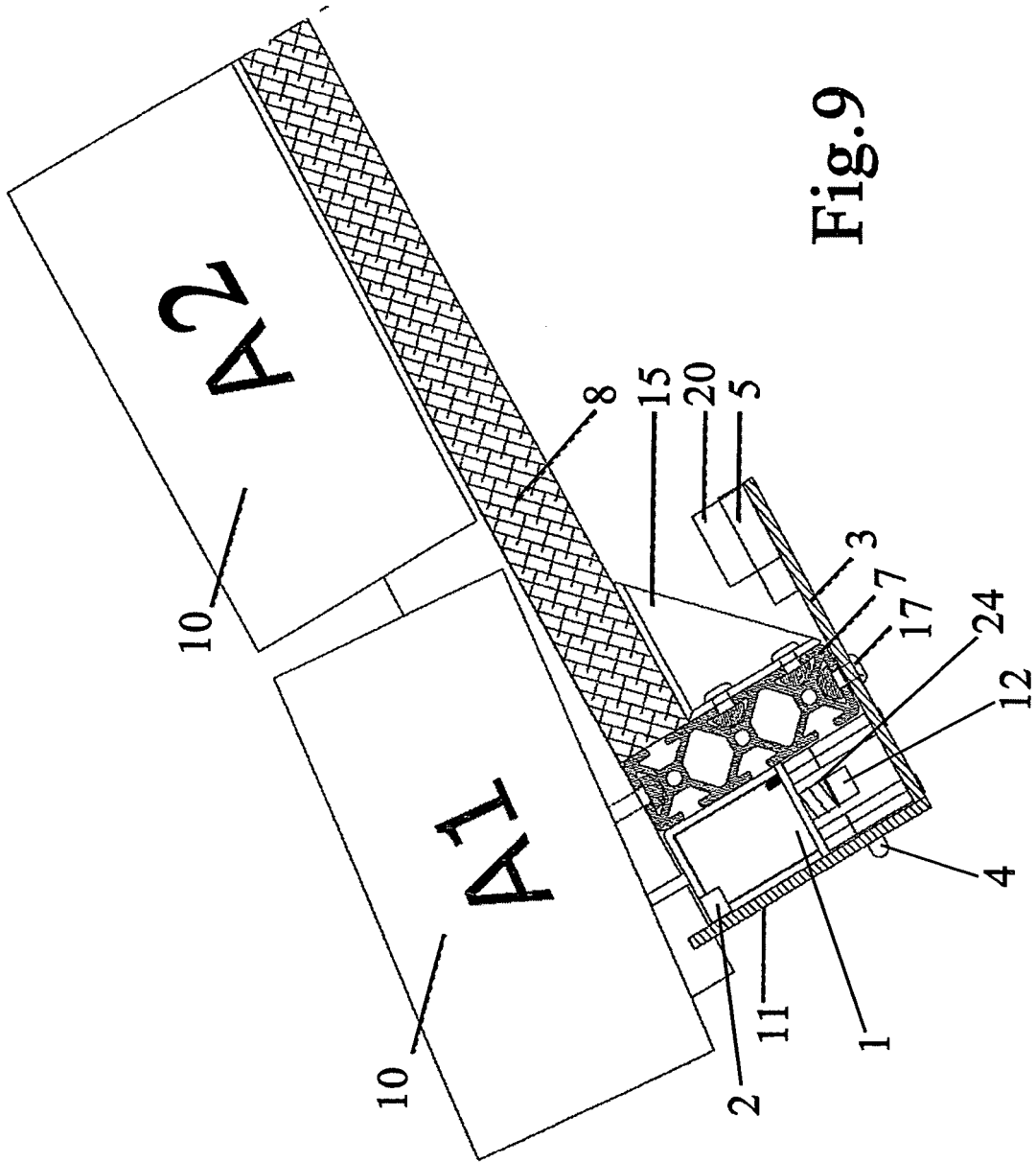


Fig.9

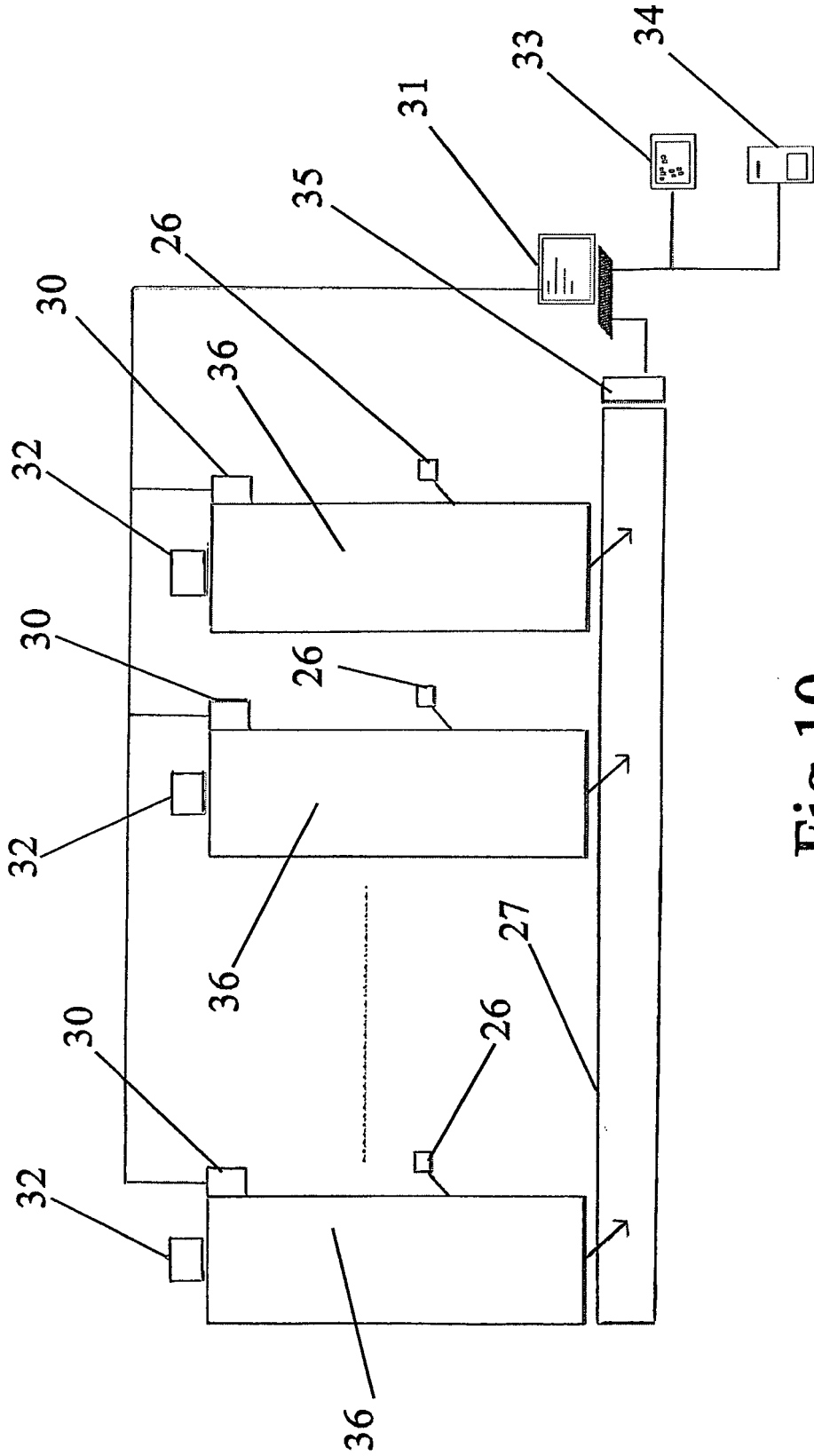


Fig.10

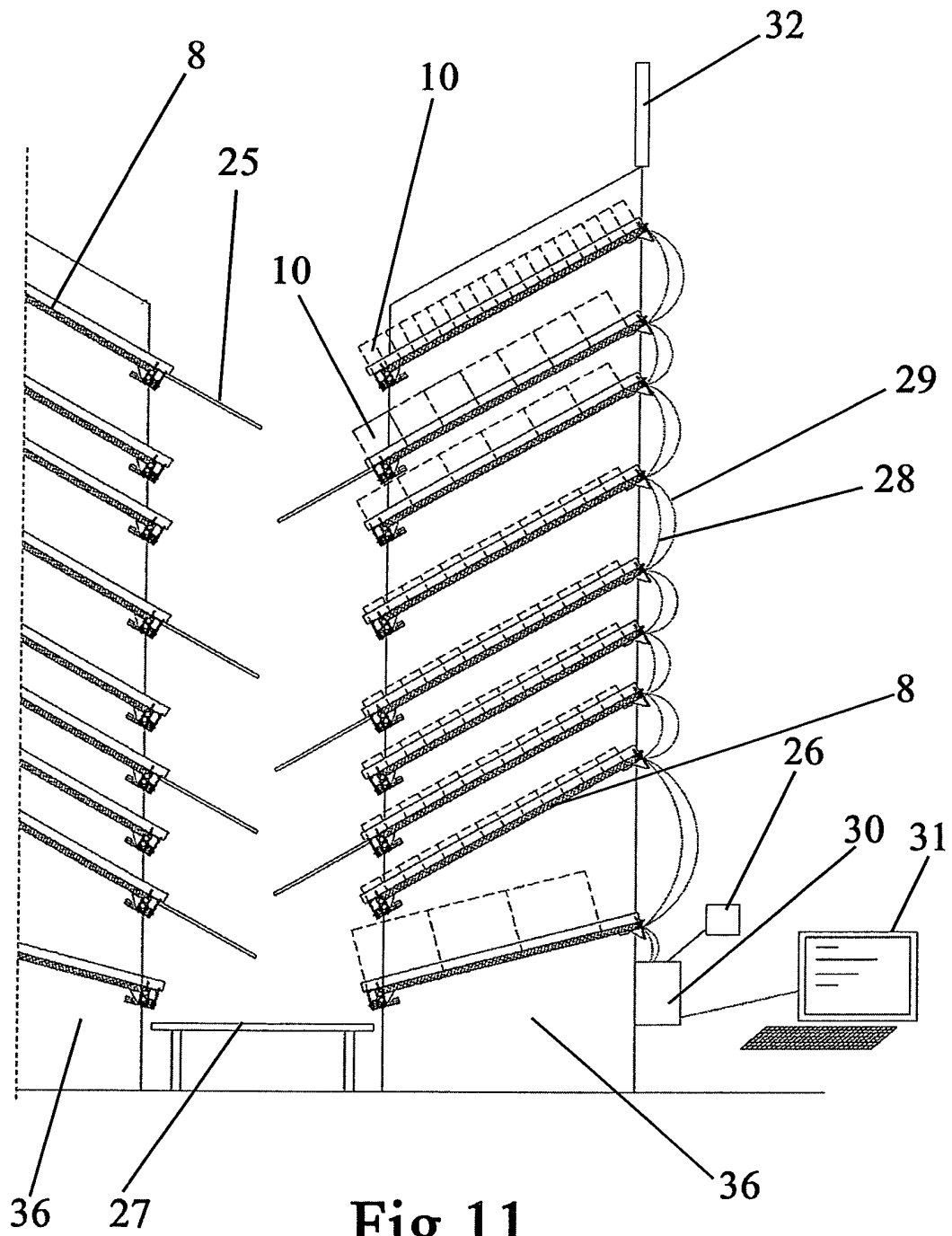


Fig. 11



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

① Número de publicación: **2 349 612**

② Número de solicitud: 200900649

⑤ Int. Cl.:

**B65G 1/137** (2006.01)

**G06Q 10/00** (2006.01)

**H05B 33/08** (2006.01)

⑫

PATENTE DE INVENCION

B1

⑫ Fecha de presentación: **09.03.2009**

⑬ Fecha de publicación de la solicitud: **07.01.2011**

Fecha de la concesión: **25.08.2011**

⑮ Fecha de anuncio de la concesión: **06.09.2011**

⑮ Fecha de publicación del folleto de la patente:  
**06.09.2011**

⑰ Titular/es: **CENKER ROBOTICS, S.L.**  
c/ Vega de Alzaga, nº 1 - 1º D  
48950 Erandio, Bizkaia, ES

⑱ Inventor/es: **Trueba Parra, Iván**

⑳ Agente: **Buceta Facorro, Luis**

⑳ Título: **Instalación para el cuidado, localización y gestión de artículos en un almacén.**

㉑ Resumen:

Instalación para el guiado, localización y gestión de artículos en un almacén, que se forma por tiras modulares (1) interconectables entre sí, cada una de las cuales incorpora un circuito impreso, respecto del que van conectados una fila de diodos led (3) y un conjunto electrónico que comprende un microcontrolador (6) provisto de un identificador particular de la tira modular (1), mientras que en los extremos van dispuestos conectores macho (8) y conectores hembra (9) para la interconexión con otras tiras modulares (1), permitiendo, en base a órdenes procedentes de aparatos de usuario, señalar y gestionar la ubicación de artículos en un almacén, así como el guiado hasta los mismos, mediante los diodos led (3) de tiras modulares (1) interconexionadas.

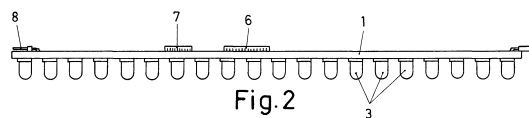


Fig. 2

ES 2 349 612 B1

Aviso: Se puede realizar consulta prevista por el art. 37.3.8 LP.

## DESCRIPCIÓN

Instalación para el guiado, localización y gestión de artículos en un almacén.

### Sector de la técnica

La presente invención está relacionada con los almacenes de distribución de productos en comercios, bibliotecas etc., en donde los operarios deben buscar, a través de estanterías compuestas por baldas, la localización de los productos en las operaciones de recogida o reposición de los mismos, proponiendo una instalación que permite la gestión y localización de los productos, así como el guiado de las personas, por el conjunto de las estanterías de ubicación de los artículos, hasta la situación exacta de éstos, mediante un sistema luminoso basado en tiras de leds autónomas que son interconectables, cuyo conjunto se puede gobernar desde cualquier tipo de computador u ordenador.

### Estado de la técnica

Los procesos de dispensación y reposición de artículos que se realizan habitualmente en almacenes, son efectuados generalmente de forma manual, de manera que los operarios encargados de dichas funciones recorren el almacén en busca de la ubicación de los artículos. El sistema es similar al de la organización, dispensación y reposición de los libros en una biblioteca, en donde el encargado o el socio autorizado debe localizar el lugar de ubicación de los distintos libros, para su extracción y para su reposición.

En los almacenes, lo mismo que en las bibliotecas, los artículos se organizan en estanterías compuestas por distintos niveles de baldas, distribuyéndose las estanterías y las baldas siguiendo unos órdenes determinados, como la categoría de los artículos o códigos alfanuméricos.

Existen soluciones tecnológicas que utilizan máquinas basadas en robots manipuladores, para la distribución de los artículos que se almacenan, de manera que las máquinas así concebidas se desplazan por guías dispuestas por el frente de las estanterías de almacenamiento, para realizar la extracción o colocación de los artículos, utilizando para ello un elemento actuador.

El uso de dichos robots presenta sin embargo inconvenientes, ya que, además del alto coste de las máquinas manipuladoras, los artículos que se almacenan tienen que ser introducidos en cajas o unidades de embalaje que puedan ser manipulados por los robots y, en algunos casos, los materiales que se manipulan mediante el robot, son extraídos y colocados solo directamente sobre palets. Por otro lado, los artículos que se almacenan mediante este sistema, no suelen ser accesibles manualmente, de manera que todo el proceso queda paralizado en caso de avería de la máquina o fallo en el suministro de energía.

Otras soluciones tecnológicas puestas en práctica para la gestión de los almacenes o bibliotecas, consisten en el empleo de ordenadores portátiles de mano, tipo PDA, de modo que el operario puede escanear el código de barras de cada artículo que es colocado o extraído, para darlo de alta o de baja en tiempo real en una base de datos de control del stock del almacén. Este sistema ayuda a la gestión de albaranes, pedidos y stocks, pero requiere experiencia y pericia de la persona operaria para localizar las ubicaciones de los artículos distribuidos en el almacén.

Sistemas más avanzados con ordenador portátil

PDA emplean mensajes de voz para ayudar al operario en las indicaciones sobre la ubicación de los artículos, pero requieren igualmente de un conocimiento específico sobre el almacén para poder realizar las operaciones con celeridad y exactitud.

Los sistemas para recogida y reposicionamiento de productos, conocidos como "pick-to-light" y "put-to-light", consisten en unas unidades electrónicas con display y pulsador que son colocadas de forma distribuida por las estanterías de un almacén, colocando encima de cada unidad una caja que contiene productos. Con estos sistemas los operarios trabajan en zonas, y se emplean cubetas que se mueven automáticamente por los distintos puestos de los operarios a través de transportadores de rodillos, de modo que cuando una cubeta llega a un operario, éste la escanea para que las unidades electrónicas de las baldas indiquen mediante el display el número de unidades de producto que hay que extraer o reponer de cada caja. Cuando la operación finaliza, se accionan los pulsadores de cada unidad electrónica que haya sido activada. Cabe destacar que estos sistemas requieren cablear todas las conexiones entre las unidades electrónicas con display y pulsador a un sistema de control. Además, sólo pueden utilizarse para productos almacenados en cajas y ocupando un cierto volumen y no solucionan el problema del guiado de un operario desde cualquier punto de un almacén hasta un producto concreto. Estos sistemas basados en displays tampoco permiten reconfigurar dinámicamente el espacio ocupado por los productos, ya que el número de unidades que pueden ser instaladas en cada estantería es limitado.

En este sentido, una problemática añadida a la disposición de artículos en los almacenes o libros en las bibliotecas, consiste en que hay que prever espacios libres para la ubicación de los artículos o libros nuevos que deban ser ubicados en las zonas de colocación, lo cual conlleva a que los espacios de las baldas de las estanterías no puedan ser utilizados en su totalidad, debido a la necesidad de previsión de espacios para la futura colocación de nuevos objetos.

Un sistema inteligente de luces o indicadores luminosos para la ayuda al desplazamiento de cada operario por el almacén, la localización exacta de cada producto o ubicación en las baldas y la ayuda a la gestión de los espacios en las estanterías, como es explicado en la presente patente, no puede ser implementado con ningún sistema de iluminación disponible en el estado del arte actual. Existen diodos led o barras de diodos led que resultan apropiados para iluminar cada posible ubicación de un producto en una de las baldas de una estantería de un almacén. Sin embargo, el empleo de leds o barras de leds convencionales distribuidos en todas las estanterías y baldas de un almacén necesitaría un control electrónico con capacidad para un número muy elevado de señales independientes y requerirla también de un número muy elevado de cables de conexión, que deben ser distribuidos por las baldas de almacenaje, de modo que la complejidad y el coste de la instalación, hacen casi inaplicable el sistema en la práctica.

En ese sentido, la Patente EP 2 248 977 describe un sistema para controlar el funcionamiento de una instalación de iluminación o un equipo de señalización que tiene una pluralidad de puntos de luz tipo leds. Este sistema de control permite el encendido de conjuntos de diodos leds conectados en serie, pero necesita cablear la instalación de los diodos leds hasta

el lugar en el que se ubica la unidad de control, no existiendo un control individual del encendido de cada led, de manera que se necesita una unidad central para el control de los encendidos de todos los leds, por lo que existe una limitación del número de canales de leds que pueden ser controlados desde la unidad central.

El Modelo de Utilidad ES 1 067 877 describe un dispositivo de iluminación por barra de diodos leds, mostrando un sistema de iluminación basado en un conjunto de leds instalados en forma de línea. En este sistema los diodos leds que lo forman no pueden ser encendidos o controlados de forma individual, de modo que su empleo en un sistema luminoso para el guiado de localización de objetos necesita llevar múltiples cables desde cada barra de leds hasta la unidad de control, lo cual, teniendo en cuenta que cualquier almacén de tamaño medio precisa de un gran número de barras de leds con sus cableados independientes y que los objetos de distintos tamaños no se adaptan de forma óptima al tamaño de las barras de diodos leds, hace que la instalación sea también excesivamente complicada y costosa.

Una reciente aplicación de los diodos leds para iluminación, consiste en rollos autoadhesivos que disponen de un diodo led cada varios centímetros, pudiendo ser cortada la tira de leds por cualquier lugar del rollo, de modo que se obtiene un conjunto de diodos leds que pueden ser iluminados al aplicar tensión en un punto de la tira. Con este sistema todos los diodos leds de la tira cortada se encienden y apagan a la vez, necesitando cables de conexión hasta el punto de contacto para que puedan ser utilizados. Esto permite adaptar el tamaño de cada conjunto de diodos leds al tamaño de los objetos que se disponen en las baldas de almacenamiento, pero el cableado necesario hace que la instalación resulte también compleja y costosa. Este sistema no resuelve además la posibilidad de un cambio de configuración ante la modificación del tipo de objetos que se dispongan en las baldas de almacenamiento, los cuales pueden no coincidir con el tamaño de las tiras de diodos leds y sus cableados de la instalación original.

Se prevé por tanto la necesidad de una solución tecnológica para la ayuda en los procesos de dispensación y reposición de artículos que se disponen en distribuciones de almacenaje, con una instalación sencilla, para ayudar a las personas encargadas de realizar las labores de dispensación y reposición de los artículos, a recorrer de una manera directa y precisa la ruta para llegar al lugar de la ubicación del artículo que se desee en cada caso. La solución se prevé también que sea capaz de ayudar a la gestión del almacén, indicando las ubicaciones en las que se deben colocar los artículos cuando son almacenados, de manera que no se generen espacios vacíos no utilizados.

#### **Objeto de la invención**

De acuerdo con la invención se propone una instalación que cumple con los requisitos de la solución tecnológica indicada, mediante un sistema de indicación constituido por diodos leds capaces de señalar la ruta que deben seguir los operarios por el almacén de aplicación hasta llegar a la ubicación exacta de los artículos que se buscan, sin tener que realizar cableados de conexión de los diodos leds utilizados y con un control particular de dichos leds que no limita el número de los mismos.

La instalación objeto de la invención se basa en

unas tiras modulares de circuito impreso que disponen de uno o varios diodos leds, una electrónica autónoma de control y comunicaciones, y unos conectores que permiten la interconexión de sucesivas tiras modulares para determinar un recorrido por las baldas y estanterías del almacén de aplicación, sin necesidad de cableados de conexión.

La electrónica autónoma de control de cada tira modular es de una identificación única, de forma que es capaz de interpretar los órdenes de dispensación y reposición que son solicitadas por uno o varios operarios desde un computador de mesa o un ordenador de mano tipo PDA, para indicar de un modo inteligente los procesos de ruteado y localización hasta la ubicación de los artículos que se deseen.

Las tiras modulares que se emplean en la instalación disponen de los diodos led colocados en la parte frontal, quedando un espacio libre para la colocación de etiquetas, códigos de barras u otros signos identificativos que quieran añadirse al sistema de iluminación de los diodos leds, yendo la electrónica de control y comunicaciones, así como los conectores de interconexión de las tiras, en la parte posterior de la tira modular, de manera que el usuario de la instalación solo visualiza los diodos leds y las etiquetas o signos identificativos opcionales, quedando oculta la electrónica y los conectores de las tiras modulares instaladas.

Las tiras modulares se hallan provistas con unos orificios para su fijación en los lugares de aplicación, pudiendo realizarse dicha fijación mediante adhesivo, grapas, remaches, tornillos, o cualquier otro sistema convencional de sujeción.

En la instalación de aplicación, sobre las tiras modulares conectadas entre sí se puede colocar una cubierta transparente, determinando así una protección para evitar las acciones vandálicas y daños en el sistema electrónico por la caída de líquidos o acumulación de polvo.

El tipo de señal de los diodos leds que van incorporados en las tiras modulares componentes de la instalación, puede ser personalizada por cada operario usuario de la instalación, de forma que cada usuario puede disponer de un sistema de guiado y localización particular diferente del de los demás usuarios, de modo que la instalación puede ser utilizada por varios usuarios a la vez, sin que la activación de la instalación por los diversos usuarios induzca a error de la ruta que cada uno de ellos debe seguir. En este sentido, la señal de los diodos leds incorporados en la tiras modulares, puede ser selectivamente multicolor, o de diversas formas funcionales, como por ejemplo en encendido continuo, en encendido parpadeante, en encendido secuencial sucesivo de los distintos diodos leds o grupos de diodos leds, etc.

En la aplicación sobre estanterías compuestas por varios niveles de baldas, la instalación se complementa respecto de cada estantería con una unidad concentradora que dispone de una fuente de alimentación y una electrónica de repetición de señal, para transmitir la tensión de alimentación y los mensajes de comunicaciones correctamente conformados a todas las tiras modulares interconectadas que se hallan dispuestas en relación con las distintas baldas de la estantería, con lo cual se garantiza una correcta instalación eléctrica y de comunicaciones para el sistema de guiado mediante los leds de las tarjetas modulares.

Con la instalación preconizada, un operario puede seleccionar, mediante el empleo de un computador o

un ordenador de mano tipo PDA, el objeto que desea extraer o introducir en el almacén, empleando para ello un código específico del objeto, indicando a la vez la situación en la que se encuentra el operario si el aparato de control que utiliza es un ordenador de mano. Con ello, tras validarse la acción, los leds de la instalación se iluminan por los pasillos del almacén, con el tipo de iluminación que haya seleccionado ese operario, resultando así indicada la ruta que debe seguir el operario hasta el lugar de ubicación del objeto deseado. La situación del usuario que emite la orden de selección de un producto a localizar en el almacén de aplicación, puede realizarse también de forma automática, mediante una gestión de autolocalización del aparato utilizado por el usuario para emitir la orden a la instalación.

Tras finalizar la acción de extracción o reposición del objeto, el operario puede confirmar la operación con el mismo aparato de control, actualizándose con ello, en tiempo real, la base de datos de gestión de stocks y albaranes del almacén.

Las ubicaciones de los objetos en las baldas del almacén pueden ser configuradas en relación con los objetos, asignando en cada lugar un conjunto adecuado de leds en función de las dimensiones de los objetos a almacenar. La instalación permite además una función de gestión para la configuración de las ubicaciones de los objetos de una forma óptima en función del espacio disponible en las baldas de almacenamiento, para que no queden huecos desaprovechados. Para ello, cada vez que se introduce el código de un objeto que se ha de ubicar en el almacén, el sistema solicita las dimensiones de dicho objeto, para calcular el espacio óptimo de almacenamiento, guiando al operario, mediante el encendido de los leds correspondientes, hasta ese espacio.

Y de igual modo, las funciones de localización y guiado, mediante la instalación de la invención, pueden ser aplicadas para objetos móviles que tengan un localizador inalámbrico, como carros transportadores o incluso los propios operarios que se mueven por el almacén de aplicación.

#### Descripción de las figuras

La figura 1 muestra la vista frontal de una tira modular de composición de la instalación preconizada.

La figura 2 es una vista en planta respecto de la figura anterior.

La figura 3 es una correspondiente vista posterior de la tira modular.

La figura 4 es un diagrama en bloques del conjunto funcional de la tira modular.

La figura 5 es un ejemplo de aplicación de la instalación preconizada, en la estructura de baldas de una estantería de almacén.

La figura 6 es un esquema de la aplicación de la instalación en el conjunto de una distribución de estanterías de un almacén.

La figura 7 muestra un ejemplo de interconexión angular de las tiras modulares de la instalación, mediante un conector accesorio.

La figura 8 es una perspectiva de una tira modular de la instalación incluida dentro de una cubierta transparente de protección.

#### Descripción detallada de la invención

El objeto de la invención se refiere a una instalación destinada para indicar de manera luminosa los recorridos a seguir en un almacén o biblioteca, hasta los lugares de ubicación de los objetos o libros, tanto

para la extracción como para la reposición de los mismos, determinándose dicha instalación por la unión consecutiva de tiras modulares (1) que se interconectan entre sí a lo largo de la distribución de estanterías (2) de almacenaje y de las baldas componentes de las mismas donde se determinan las ubicaciones de almacenamiento de los objetos.

Cada tira modular (1) comprende en la parte frontal (figura 1) una serie de diodos luminosos (3) de tipo led dispuestos de manera sucesiva en una o más filas, los cuales pueden ser encendidos de forma independiente o en conjuntos, siguiendo posibles combinaciones distintas de actividad o de colores.

En esa parte frontal de las tiras modulares (1) queda además un espacio libre, en donde es susceptible la colocación de etiquetas accesorias (4), las cuales pueden contener informaciones referentes al nombre, descripción, código de barras, etc., de los objetos para los que está destinado el almacén, de modo que en dichas etiquetas accesorias (4) los operarios del almacén pueden comprobar visualmente la correspondencia de la ubicación a la que conduce el guiado luminoso de la instalación y el objeto que se halla en dicha ubicación. Dichas etiquetas accesorias (4) pueden contener también información referida a las baldas y estanterías (2), lo cual es muy adecuado para las instalaciones en las que las ubicaciones de los objetos que se almacenan cambian periódicamente al activar el modo de gestión de los diodos led (3) para la asignación de las ubicaciones de almacén de los objetos en función del tamaño de éstos y de los espacios disponibles en las baldas de las estanterías (2).

En la parte posterior no visible para el usuario (figura 3), las tiras modulares (1) poseen un circuito impreso, en el cual van colocados los componentes electrónicos (5) de control y comunicaciones, incluyendo dicho conjunto electrónico un microcontrolador (6) capaz de gestionar todo el control de las comunicaciones y el encendido autónomo de los diodos led (3).

El microcontrolador (6) dispone de un identificador único en cada tira modular (1), de manera que cada orden de encendido que es transmitida desde el ordenador o PDA de un usuario, hacia el conjunto de una instalación, solo es procesada por aquellas tiras modulares (1) en las que su identificador corresponda al que debe realizar la operación de la orden dada.

El conjunto electrónico de cada tira modular (1) incluye además un circuito integrado (7), formado por un chip que realiza la gestión de las comunicaciones, adaptando los niveles físicos del bus de datos a señales digitales que puedan ser procesadas de forma adecuada por el microcontrolador (6) y que puedan ser transmitidas adecuadamente a otras tiras modulares (1).

Para la conexión sucesiva de las tiras modulares (1) en la formación de las instalaciones de aplicación, cada tira modular (1) dispone de un conector macho (8) en un extremo y de un conector hembra (9) en el otro extremo. Dichos conectores (8 y 9) se prevén de cuatro pins, de los que dos son para la alimentación y los otros dos para un protocolo diferencial entre las tiras modulares (1) interconectadas, aunque de igual modo el protocolo entre las tiras modulares (1) podría ser normal con un solo pin de conexión.

El resto de los componentes (5) del conjunto electrónico de las tiras modulares (1), son elementos encargados de acondicionar las señales de control generadas por el microcontrolador (6) hacia los diodos led

(3), a niveles de tensión y corriente adecuados para el encendido de los mismos. Algunos de los componentes (5) son resistencias de montaje superficial, empleadas para limitar la tensión hacia los diodos led (3), otro de los componentes (5) es un transistor de montaje superficial utilizado para el aumento de corriente en un diodo led (3), y otro de los componentes (5) es un condensador para la estabilización de la tensión de alimentación de la tira modular (1) correspondiente.

Los conectores (8 y 9) van incorporados en los extremos de las tiras modulares (1) con la orientación precisa para la conexión de las sucesivas tiras modulares (1) según los recorridos de las instalaciones de aplicación. En este sentido, los conectores (8 y 9) de cada tira modular (1), pueden estar dispuestos en orientación recta respecto de los extremos de la tira modular (1), o en orientación inclinada, pudiendo incluso ser giratorios para orientarse selectivamente según convenga. También se prevé la posibilidad de conexión de la sucesivas tiras modulares (1) mediante conectores (10) accesorios angulares, como se observa en la figura 7.

En las instalaciones de aplicación las tiras modulares (1) componentes pueden ir dentro de una cubierta transparente (11), de forma que el conjunto quede protegido frente a acciones vandálicas, el vertido de líquidos o acumulación de polvo, pudiendo ser dicha cubierta transparente (11) un tubo de plástico o una masa de material transparente inyectada sobre las tiras modulares (1).

La fijación de las tiras modulares (1) en los lugares de aplicación puede ser por pegado, o bien mediante tornillos, grapas, remaches o cualquier otro sistema convencional de sujeción, estando provista para ello cada tira modular (1) con unos orificios (12).

La figura 4 representa el diagrama en bloques de una tira modular (1) según la invención, comprendiendo un bloque (I) correspondiente a la cara frontal de la tira modular (1) con los diodos leds (3) y las etiquetas (4) accesorias, un bloque (II) correspondiente a la cara posterior de la tira modular (1) con el circuito impreso de conexión del conjunto electrónico, un bloque (III) correspondiente al conjunto de los componentes (5) del conjunto electrónico, un bloque (IV) correspondiente al microcontrolador (6), un bloque (V) correspondiente al circuito integrado (7), y un bloque (VI) correspondiente a los conectores (8 y 9), todo lo cual puede ir integrado dentro de un bloque (VII) correspondiente a un cubrimiento de protección.

La figura 5 muestra un ejemplo de instalación del

sistema de la invención en una estantería (2) de almacenamiento compuesta por varios niveles de baldas destinadas para la ubicación de distintos tipos de artículos (13), de forma que las tiras modulares (1) interconectadas componentes de la instalación luminosa de guiado van dispuestas sobre dichas baldas de la estantería (2), quedando a la vista solo la cara frontal de las tiras modulares (1) en donde van los diodos led (3) y las etiquetas accesorias (4) de las mismas.

En dicha aplicación, en relación con el conjunto de las tiras modulares (1) incorporadas sobre la estantería (2) se dispone una unidad concentradora (14), que dispone de la fuente de alimentación para proporcionar la tensión y corriente de funcionamiento al conjunto de las tiras modulares (1) y para conformar las señales de datos procedentes del ordenador o PDA de los usuarios. En la figura, como resultado de una operación de búsqueda iniciada por un usuario, se aprecia la activación de algunos diodos led (3) de las tiras modulares (1), correspondiendo a la señalización del lugar ocupado por el artículo (13) objeto de la búsqueda, produciéndose la activación de los diodos led (3) indicadores de la señalización según el tipo de encendido seleccionado por el usuario (color, parpadeo, secuencia, etc.).

Para la localización del lugar en el que se encuentra un artículo (13) que se desee buscar, el usuario puede activar asimismo el proceso de guiado, por medio del cual los diodos led (3) que corresponden al recorrido a seguir hasta el lugar de ubicación del artículo (13) seleccionado, se encienden en la forma elegida, para guiar al usuario hasta dicho lugar de ubicación del artículo (13) en el almacén.

La figura 6 muestra un conjunto de almacén compuesto por múltiples estanterías (2) de almacenamiento, donde se puede observar como la instalación aplicada en cada estantería (2) posee una unidad concentradora (14) particular, yendo las unidades concentradoras (14) de todas las estanterías (2) interconectadas con un aparato de control (15) (ordenador o PDA) que utiliza el usuario, de forma que desde dicho aparato de control (15) el usuario puede emitir órdenes de dispensación o de reposición en el almacén, activando el sistema de guiado, localización y gestión a través de las tiras modulares (1) componentes de la instalación. Además del aparato de control (15), el usuario puede utilizar un periférico (16) de lectura automática del código identificativo del que pueden disponer los artículos (13).

## REIVINDICACIONES

1. Instalación para el guiado, localización y gestión de artículos en un almacén, del tipo destinado para señalar de manera luminosa las ubicaciones de los artículos en un almacén y los recorridos a seguir hasta dichas ubicaciones, **caracterizada** porque se forma por tiras modulares (1) interconectables, cada una de las cuales consta de un circuito impreso respecto del que van conectados diodos led (3) dispuestos en fila y un conjunto electrónico que comprende un microcontrolador (6) provisto con un identificador particular de cada tira modular (1), con un conector macho (8) en un extremo y un conector hembra (9) en el otro extremo, a través de los cuales son susceptibles de interconectarse las tiras modulares (1) directamente entre sí, permitiendo recibir en el microcontrolador (6) órdenes procedentes de uno o más aparatos de usuario para la señalización y gestión de los lugares de ubicación de los artículos en la distribución de un almacén, así como el guiado hasta los mismos, mediante la activación de los diodos led (3) que correspondan de las tiras modulares (1) interconectadas.

2. Instalación para el guiado, localización y gestión de artículos en un almacén, de acuerdo con la primera reivindicación, **caracterizada** porque las tiras modulares (1) determinan en la cara frontal, en donde van dispuestos los diodos led (3), unos espacios libres en los que se disponen etiquetas accesorias (4) contenedoras de datos referentes a los artículos del almacenamiento de aplicación e informaciones relativas a los lugares de ubicación de los mismos.

3. Instalación para el guiado, localización y gestión de artículos en un almacén, de acuerdo con la primera reivindicación, **caracterizada** porque las tiras modulares (1) incorporan en la parte posterior, de manera no visible para el usuario, el microcontrolador (6), un circuito integrado (7) formado por un chip de comunicaciones, los conectores (8 y 9) y otros componentes (5) del conjunto electrónico.

4. Instalación para el guiado, localización y gestión de artículos en un almacén, de acuerdo con la primera reivindicación, **caracterizada** porque las ti-

ras modulares (1) que forman la instalación de aplicación se disponen incluidas dentro de una cubierta transparente (11) de protección.

5. Instalación para el guiado, localización y gestión de artículos en un almacén, de acuerdo con la primera reivindicación, **caracterizada** porque en relación con las tiras modulares (1) que se establecen interconectadas en cada estantería (2) de la distribución de un almacén se dispone una unidad concentradora (14) que dispone de la fuente de alimentación para proporcionar la tensión y corriente de funcionamiento a las tiras modulares (1) y para conformar las señales de datos de los aparatos de usuario desde los que se transmiten las órdenes a la instalación.

6. Instalación para el guiado, localización y gestión de artículos en un almacén, de acuerdo con la primera reivindicación, **caracterizada** porque los diodos led (3) de las tarjetas modulares (1) interconectadas son susceptibles de activación selectivamente en combinación de colores o en forma del encendido de iluminación, para el uso de la instalación por distintos usuarios diferenciando las rutas de guiado que los mismos solicitan.

7. Instalación para el guiado, localización y gestión de artículos en un almacén, de acuerdo con la primera reivindicación, **caracterizada** porque los conectores (8 y 9) de las tiras modulares (1) son susceptibles de orientación, para la interconexión de las tiras modulares (1) sucesivas en cualquier dirección.

8. Instalación para el guiado, localización y gestión de artículos en un almacén, de acuerdo con la primera reivindicación, **caracterizada** porque la interconexión entre las tiras modulares (1) sucesivas puede establecerse a través de conectores accesorios angulares (10), para determinar recorridos de la instalación en cualquier dirección.

9. Instalación para el guiado, localización y gestión de artículos en un almacén, de acuerdo con la primera reivindicación, **caracterizada** porque las tiras modulares (1) disponen de orificios (12) para la fijación sobre baldas o estanterías mediante tornillos, grapas, remaches o cualquier otro sistema convencional de sujeción.

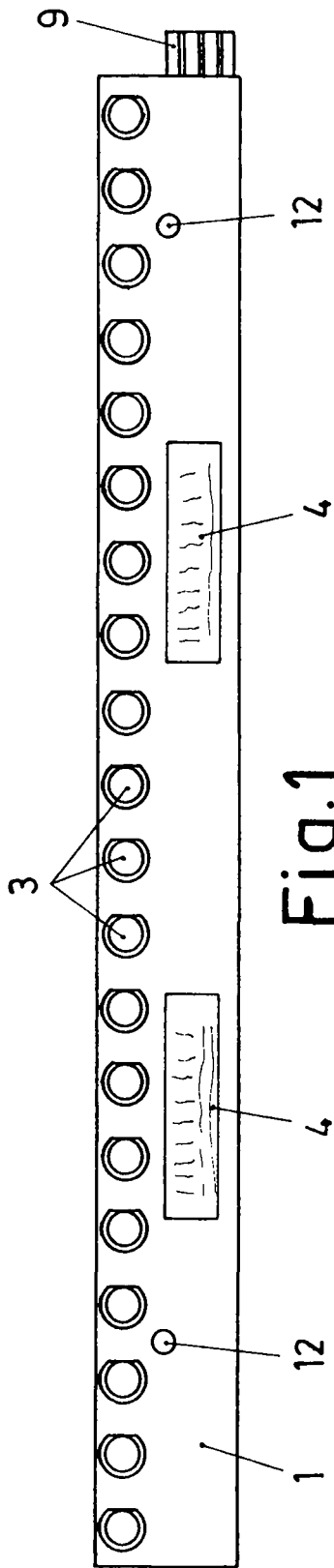


Fig. 1

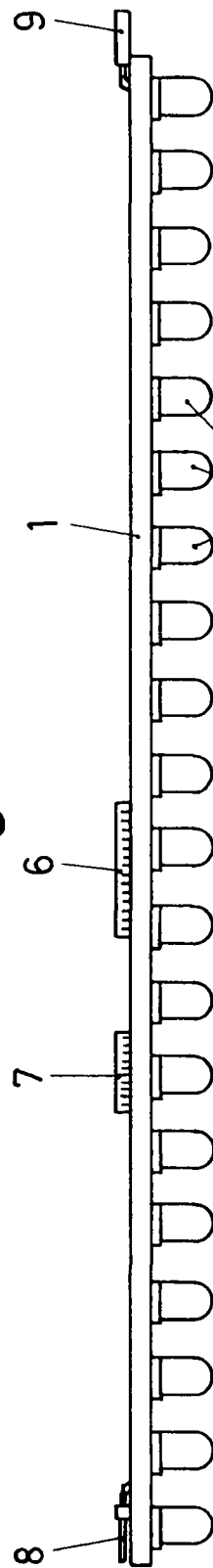


Fig. 2

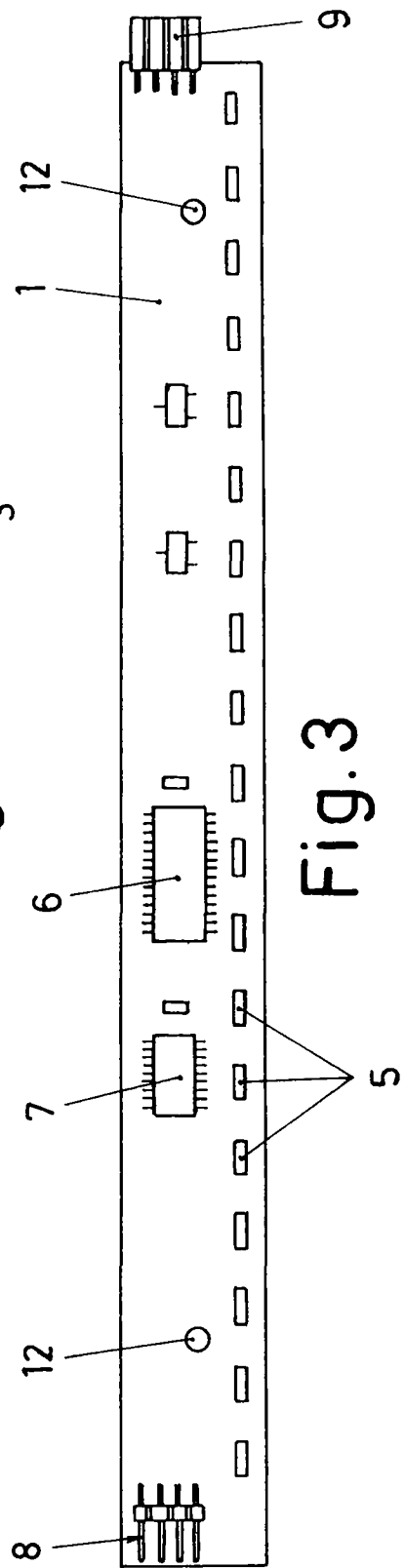


Fig. 3

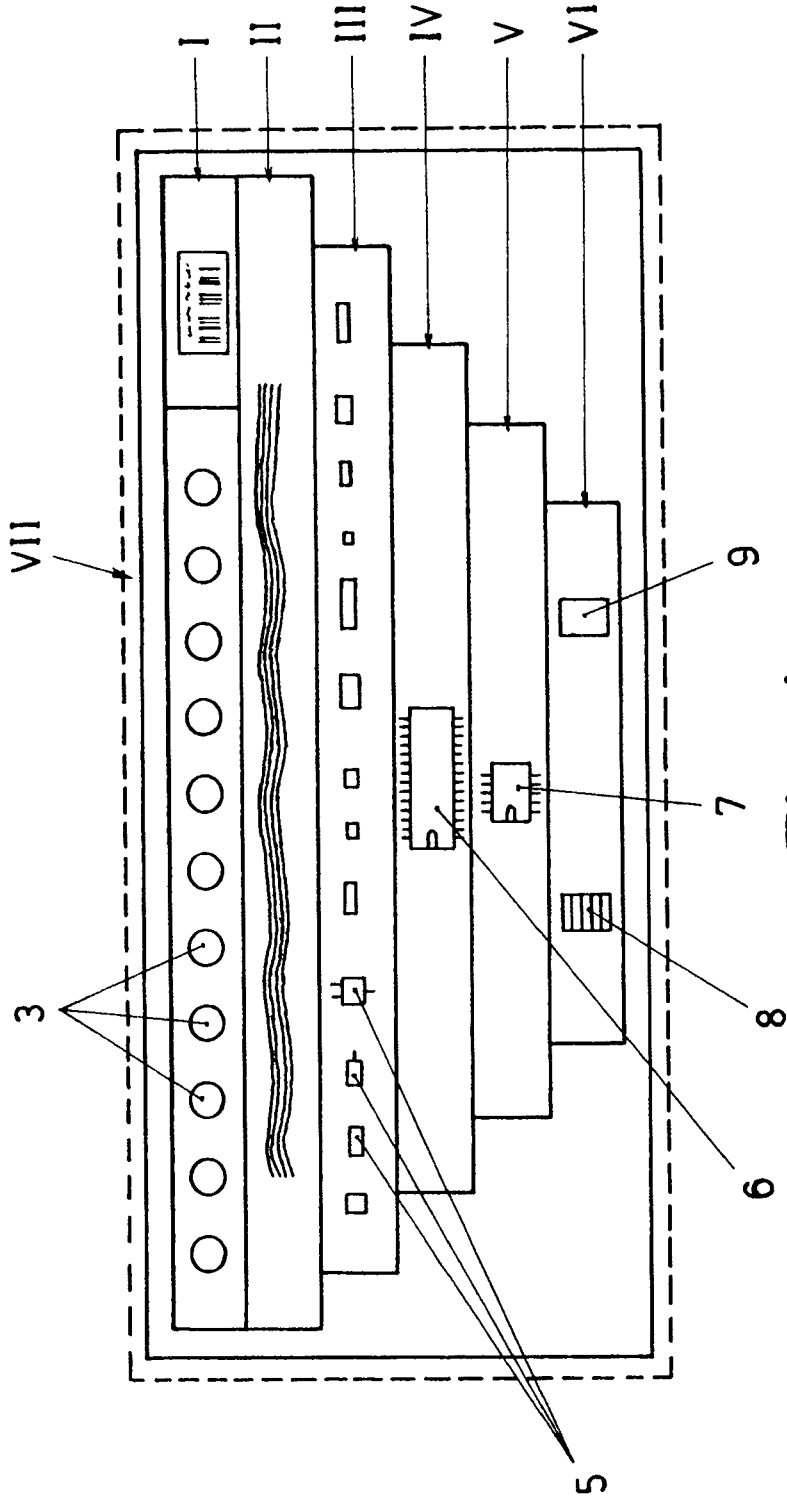


Fig. 4

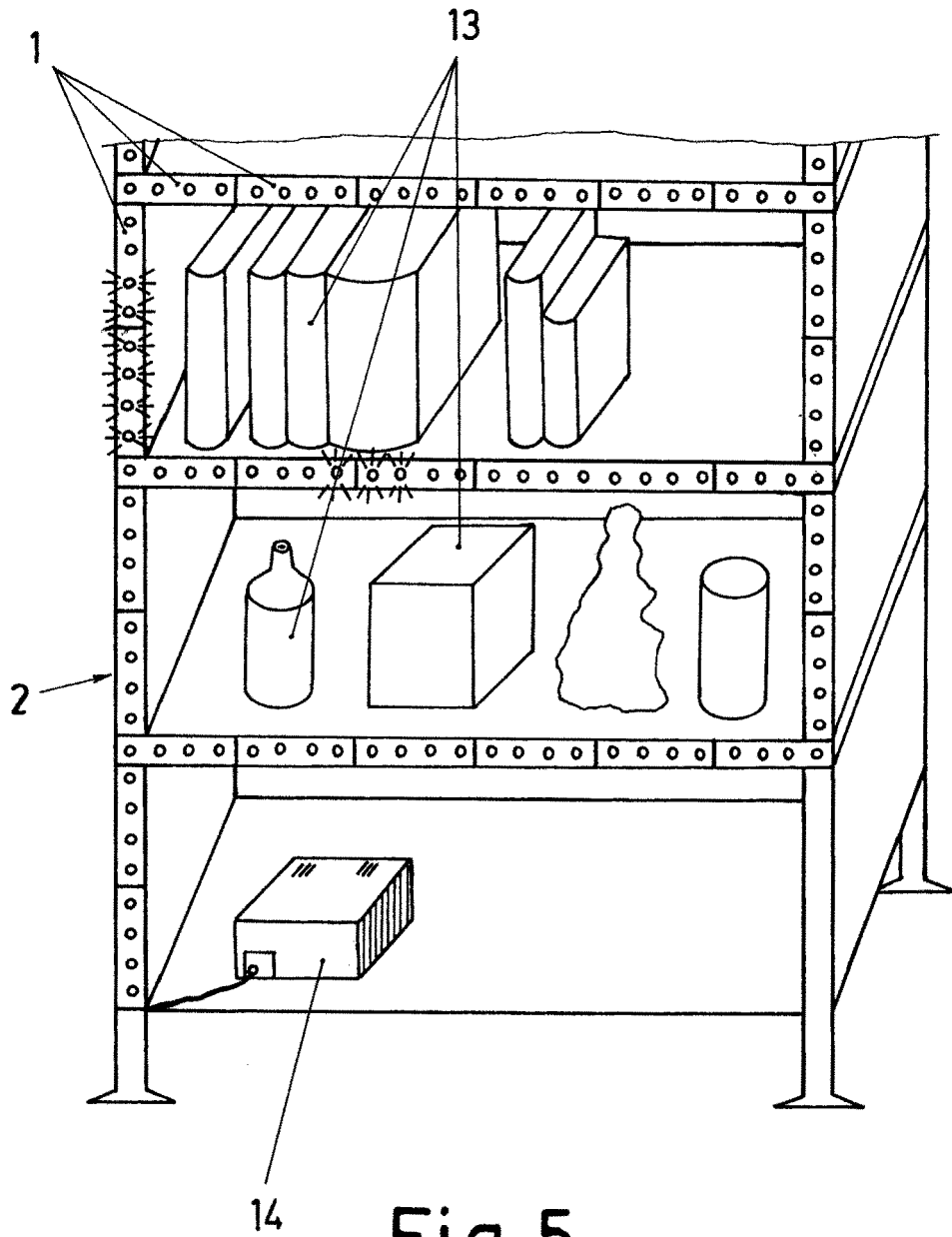


Fig. 5

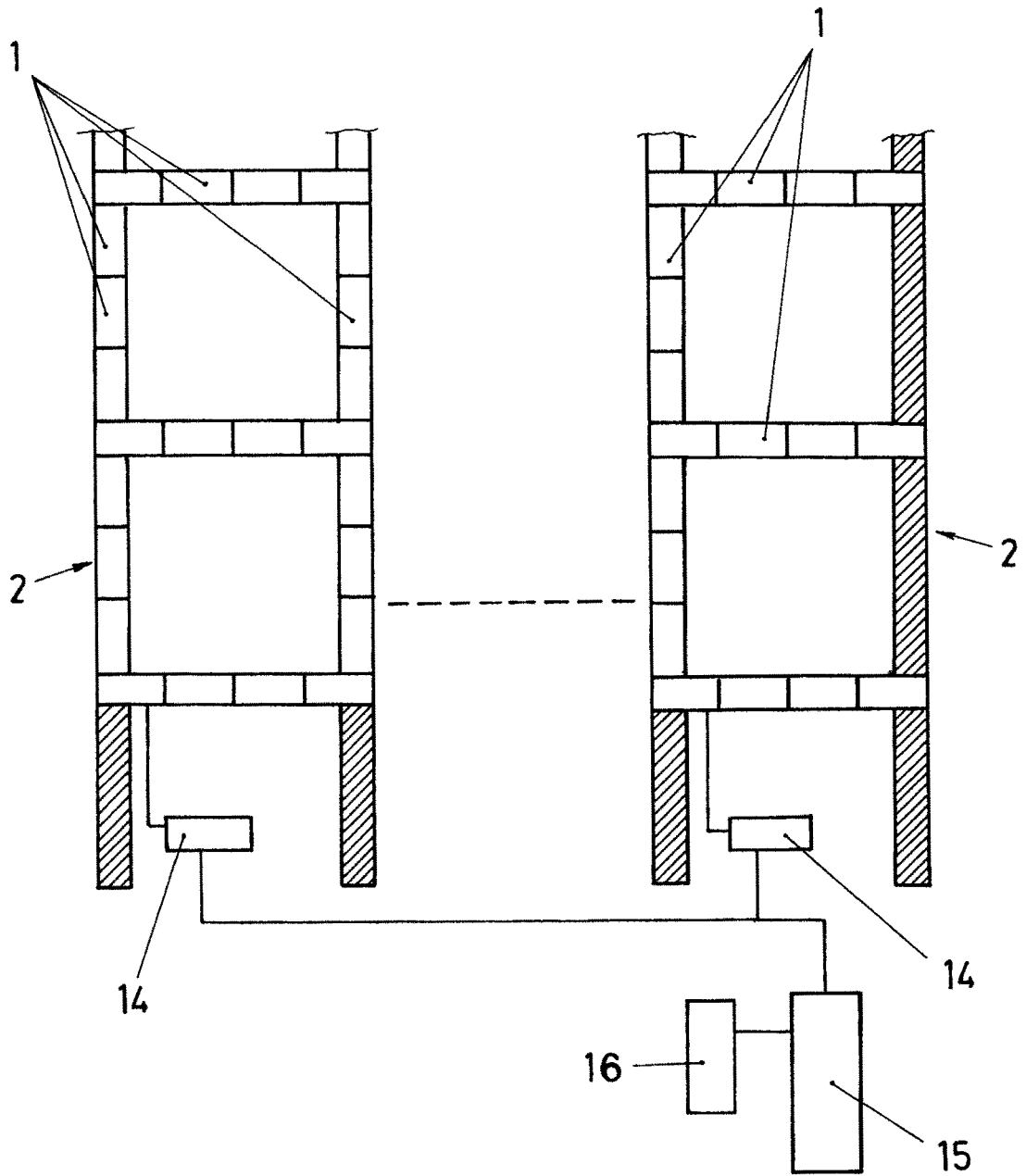


Fig. 6

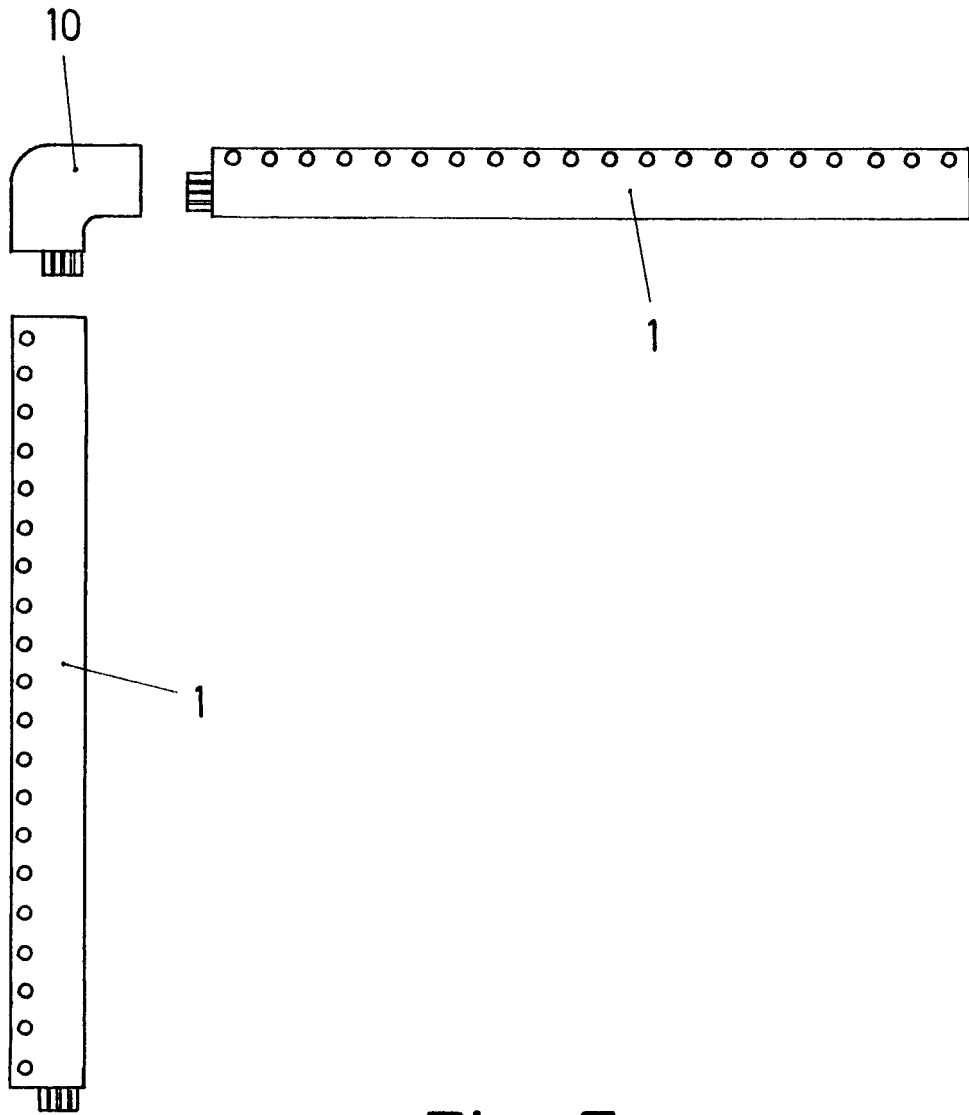


Fig. 7

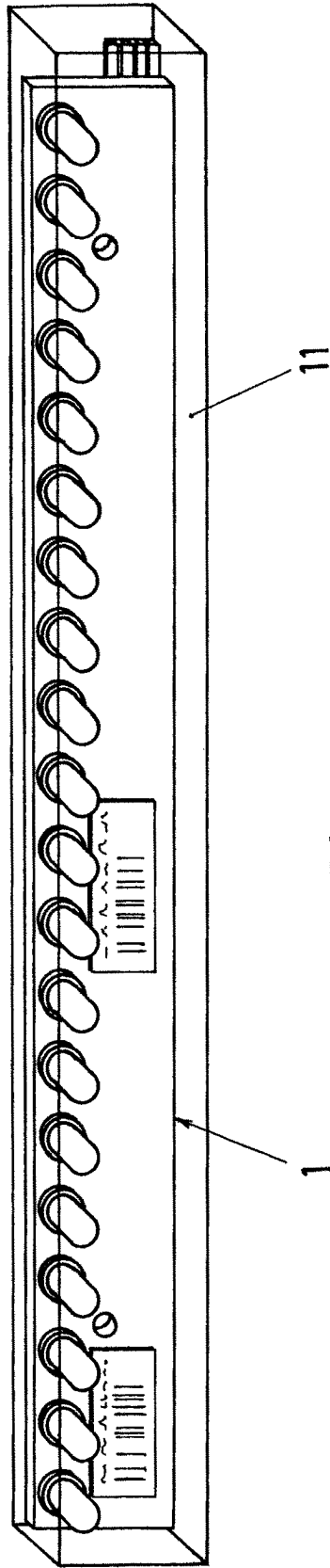


Fig. 8



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



① Número de publicación: **2 340 019**

② Número de solicitud: 201000178

⑤ Int. Cl.:

**B65G 1/04** (2006.01)

**B65G 1/137** (2006.01)

**B65G 1/133** (2006.01)

**B65G 47/96** (2006.01)

**B65G 47/50** (2006.01)

**G01B 5/02** (2006.01)

⑫

SOLICITUD DE PATENTE

A1

② Fecha de presentación: **15.02.2010**

④ Fecha de publicación de la solicitud: **27.05.2010**

④ Fecha de publicación del folleto de la solicitud:  
**27.05.2010**

⑦ Solicitante/s: **CENKER ROBOTICS, S.L.**  
**Vega de Alzaga, 1 - 1º D**  
**48950 Erandio, Vizcaya, ES**

⑦ Inventor/es: **Trueba Parra, Iván**

⑦ Agente: **Buceta Facorro, Luis**

⑤ Título: **Instalación para el reposicionamiento automático de productos comerciales y procedimiento de reposición.**

⑤ Resumen:

Instalación para el reposicionamiento automático de productos comerciales y procedimiento de reposición, estando la instalación constituida por al menos un acumulador cíclico principal (2) que abastece simultáneamente de productos a "n" acumuladores cíclicos locales (3), los cuales a su vez abastecen a "n" máquinas dispensadoras por medio de "n" elementos manipuladores, siendo "n" un número natural, y en donde los acumuladores cíclicos (2, 3) están provistos de una pluralidad de carros (6) que se mueven según un recorrido continuo, portando cada uno de los carros (6) un único tipo de producto.

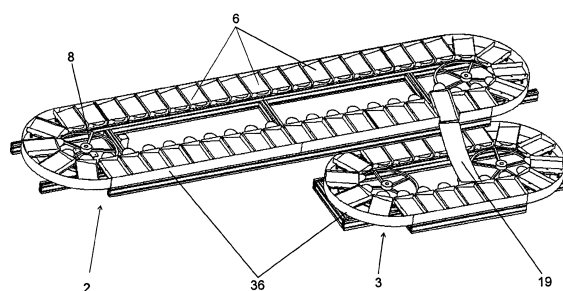


Fig. 1

ES 2 340 019 A1

## DESCRIPCIÓN

Instalación para el reposicionamiento automático de productos comerciales y procedimiento de reposición.

### Sector de la técnica

La presente invención está enmarcada dentro del sector técnico de la automatización de procesos, más concretamente en la reposición automática de productos comerciales presentados en formato de caja paralelepédica, de planta cuadrada o rectangular, tales como ciertos productos farmacéuticos, electrónicos o alimenticios, en almacenes de distribución con grandes volúmenes de trabajo.

### Estado de la técnica

Los procesos de preparación de pedidos en centros de distribución con gran cantidad de productos distintos, como es el caso de los centros de distribución de medicamentos o almacenes de electrónica, utilizan habitualmente máquinas dispensadoras, debido a que es necesario servir un gran número de pedidos en un intervalo de tiempo corto.

Existen diversos tipos de máquinas dispensadoras de productos almacenados en cajas paralelepédicas, siendo los más comunes dispensadores en los que los productos son almacenados en columnas verticales o en baldas inclinadas. Los dispensadores de columnas verticales son utilizados principalmente para medicamentos de alta rotación, en los que los productos se disponen unos encima de los otros, pero debido a que se debe disponer un único tipo de producto por cada máquina, se ocupa mucho espacio en el almacén. Los dispensadores de baldas inclinadas, que presentan varios carriles por cada balda, pueden disponer varios tipos de producto. Estos dispensadores son la solución más utilizada para la mayoría de los medicamentos, utilizándose principalmente para medicamentos de media y baja rotación. A modo de ejemplo, la patente ES 2.108.553 muestra un dispensador de balda inclinada mediante actuadores mecánicos rotativos.

Estos tipos de dispensadores son utilizados en la mayoría de los centros de distribución, en donde la reposición de las máquinas dispensadoras se realiza de forma manual. Los productos a reponer se distribuyen en baldas o en palés, los cuales son manipulados por operarios que van rellenando los carriles uno por uno.

La reposición de los dispensadores es una labor muy costosa para los centros de distribución, debido a la gran cantidad de productos movidos todos los días y que deben ser repuestos sin error y en un gran número de carriles consecutivos. Existen pocas soluciones tecnológicas a esta problemática, no existiendo una solución de reposicionamiento automático para almacenes de distribución de este tipo universalmente aceptada.

Existen máquinas de reposicionamiento automático para almacenes de medicamentos de pequeño tamaño como el mostrado en la patente ES 2.243.847 o la patente ES 2.287.346. Estas máquinas funcionan con sistemas de baldas horizontales y emplean un mismo mecanismo para dispensar y reponer los medicamentos. Estas máquinas son utilizadas en farmacias, pero no tienen la suficiente velocidad para ser aplicadas a los requerimientos de un almacén de distribución, al realizar la manipulación de los medicamentos de forma unitaria tanto para dispensar como para reponer. Además, estas máquinas operan con estructuras de baldas horizontales, cuando las baldas de

los dispensadores utilizados normalmente en los centros de distribución son inclinadas. A la hora de introducir los productos a reponer por la máquina, éstos se colocan uno detrás de otro sobre una cinta transportadora y en ese mismo orden son repuestos en las baldas.

La patente ES 2.308.761 describe un manipulador capaz de dispensar productos y reponer dos gavetas, situadas delante y detrás del manipulador en baldas inclinadas. La gaveta situada detrás del manipulador es usada como almacenaje de medicamentos de baja rotación. Esta gaveta se repone y dispensa desde su extremo inferior; esto provoca que, normalmente, el artículo de fecha de caducidad más cercana no esté en la primera posición para la dispensación, por lo que el manipulador debe sacar los productos que se encuentran delante del deseado, hasta llegar a él, y volver a reponer los artículos extraídos, mediante un sistema de almacenamiento doble en el propio manipulador. La gaveta situada delante del manipulador se usa como almacén de medicamentos de alta rotación. Esta gaveta se repone por su parte superior. Este manipulador es utilizado para farmacias o pequeños comercios, no pudiendo ser empleado en almacenes de distribución, ya que, debido a que realiza una única manipulación simultánea de un producto o tipo de productos, debe dispensar al mismo tiempo que reponer, no realiza una comprobación dimensional final del producto y de la balda en la que se va introducir, y no dispone de un sistema de entrada de cientos o miles de productos a reponerse simultáneamente.

La mayoría de los manipuladores encargados de la reposición de los productos son sistemas neumáticos que disponen de unas pinzas que ajustan el producto para su inserción en el carril del dispensador. Algunos manipuladores más avanzados tienen capacidad de rotación del artículo de forma que puede orientarse previamente a su reposición. Una muestra de ello se encuentra en la patente ES 2.298.891, la cual describe una solución para la identificación de cajas paralelepédicas. Este sistema identifica, y posiciona individualmente cada caja paralelepédica mediante una base rotativa mecánica y unos palpadores. Por último, los manipuladores más completos también se caracterizan por la capacidad de medir el medicamento antes de insertarlo en el dispensador; un ejemplo de ello se describe en la patente ES 2.294.605, en la cual, gracias a dos pinzas, el manipulador sitúa y mide el medicamento para su correcta inserción en el dispensador.

Existen otro tipo de almacenes donde se trabaja con cargas pesadas o palés de gran peso, como el mostrado en la patente US2003206789. Estas soluciones, utilizadas fundamentalmente para almacenaje de cajas de origen de mercancía o palés, no pueden ser utilizadas para el reposicionamiento de productos individuales de tamaños y formas distintas en máquinas dispensadoras.

La patente ES 2.188.168 muestra una solución tecnológica de reposicionamiento automático para almacenes de distribución. Se basa en un manipulador que recorre todo el almacén recogiendo la mercancía que los operarios desembran y colocan en una posición determinada sobre un soporte que ha de ser ajustado manualmente por los operarios en función de las dimensiones de los medicamentos. Estos medicamentos son depositados en un almacén temporal, desde donde la unidad manipuladora puede dispensar el producto directamente o almacenarlo automática-

mente en un almacén de sobras o en el almacén temporal. Con este sistema, el proceso de reposición consiste en que la unidad manipuladora debe desplazarse hasta el almacén temporal, recoger el producto, desplazarse hasta el dispensador o el almacén de sobras y reponerlo.

Un sistema de reposicionamiento de productos empaquetados se muestra en la patente EP 795.495, en donde se describe una solución para la reposición de almacenes desde la entrada de los palés, los cuáles se descargan manualmente sobre un elevador, que se mueve tanto vertical como horizontalmente, lo que le permite cargar un almacén temporal. Este almacén está compuesto por rodillos transportadores inclinados; la carga del almacén temporal se efectúa por la parte superior de los caminos de rodillos, mientras que la descarga se realiza por la parte inferior. Cuando es necesario el producto cae del camino de rodillos a una cinta transportadora, situada sobre dos unidades lineales (una vertical y otra horizontal), que es la encargada de transportar el medicamento hasta el dispensador, constituido por una o más columnas verticales. Dichas columnas verticales son cargadas desde la parte superior y hacen uso de una cinta transportadora en la parte inferior de dicha columna vertical para dispensar el producto hacia otra cinta transportadora encargada de sacar el producto al exterior del almacén.

Existen otro tipo de patentes aplicadas a los procesos de manipulación de productos que muestran metodologías o procedimientos preferentes de actuación. Por ejemplo, la patente US2009047113 describe un método de almacenaje y transferencia de "containers" siguiendo una secuencia de pasos concretos. Este método no es válido para la manipulación de cajas de producto individuales y de distintos formatos.

La patente EP 2.065.317 describe un método de identificación y medida de productos farmacéuticos, mediante un dispositivo de control, para su posterior almacenamiento. Este sistema transporta un grupo de medicamentos a un almacén temporal del almacén automático, mediante un dispositivo de transporte, de tal forma que el dispositivo de control tiene conocimiento en todo momento de la posición de cada paquete en el almacén temporal. En función de la información del sistema de control los medicamentos se reubican en la posición predeterminada del almacén final.

La patente ES 2.287.34 6 describe un método de almacenamiento completo, desde la identificación inicial del medicamento hasta su almacenamiento y dispensación final, controlado por ordenador. En este caso el sistema posee un dispositivo de manipulación y otro de dispensación, ambos controlados por ordenador. El sistema a la hora de almacenar los medicamentos posee una estación de identificación controlada por ordenador. Los productos son almacenados por un lado de la estantería, mientras que son extraídos por el lado contrario. Dichas estanterías están provistas con una pluralidad de cajas de almacenamiento inclinadas.

#### **Objeto de la invención**

La instalación para el reposicionamiento automático de productos comerciales mostrada en esta solicitud de patente está orientada a los almacenes de distribución de cajas paralelepípedas, como el caso de los embalajes de la mayoría de los medicamentos.

La instalación de reposicionamiento se basa en

unos acumuladores cíclicos encargados de identificar y trasladar los productos hasta su zona de almacenaje, y de unos elementos manipuladores encargados de posicionar, medir, e insertar los productos en su correspondiente ubicación en la máquina dispensadora. Con esta instalación un número "m" de productos transitan simultáneamente hacia un número "n" de máquinas dispensadoras a reponer, a diferencia de las soluciones del estado de la técnica, en las que el elemento manipulador va a buscar el producto o productos a reponer. Con la instalación objeto de la invención, una diversidad de productos distintos se transportan simultáneamente hasta un conjunto de máquinas dispensadoras que están a la espera de su recepción.

La instalación para el reposicionamiento automático de productos comerciales está constituida por al menos un acumulador cíclico principal que abastece simultáneamente de productos a "n" acumuladores cíclicos locales, los cuales a su vez abastecen a "n" máquinas dispensadoras por medio de "n" elementos manipuladores, siendo "n" un número natural, y en donde los acumuladores cíclicos están provistos de una pluralidad de carros que se mueven según un recorrido continuo, portando cada uno de los carros un único tipo de producto.

Se ha previsto, que los acumuladores cíclicos presenten una configuración en cascada, disponiéndose los acumuladores cíclicos locales abastecedores de las máquinas dispensadoras en una altura inferior a la de los acumuladores cíclicos principales, con lo que se consigue reducir el espacio en planta empleado, no obstante también pudieran disponerse a la misma altura, sin alterarse el concepto de la invención.

Así mismo, se ha previsto que cuando el volumen de productos en la instalación así lo requiera, se pueda disponer, entre el acumulador cíclico principal y los acumuladores cíclicos locales, al menos un acumulador cíclico secundario, de igual configuración que los anteriores, de manera que una solución preferente de la instalación será al menos un acumulador cíclico principal, que abastece de productos a varios acumuladores cíclicos secundarios, los cuales a su vez abastecen a "n" acumuladores cíclicos locales que transfieren los productos a "n" máquinas dispensadoras por medio de "n" elementos manipuladores.

Los acumuladores cíclicos comprenden unas ruedas dentadas, separadas una distancia variable y accionadas por un motor, que arrastran a los carros por medio de una cadena de transmisión o elemento similar. Los carros están constituidos por una base que dispone de unos mecanismos de guiado para el desplazamiento a lo largo del acumulador cíclico, una plataforma basculante portadora de un único tipo de producto y que es elevable mediante un mecanismo de basculación para la transferencia del producto, o productos, a otro acumulador cíclico o a un elemento manipulador. Los carros están debidamente referenciados dentro de la instalación mediante unos medios de identificación como RFID o código de barras.

Los acumuladores cíclicos disponen cada uno de al menos una zona de descarga de productos en relación con al menos una zona de recepción de productos, estas zonas de descarga y recepción pueden ser simples, de manera que el trasvase de productos se hace mediante el volcado de un único carro, o múltiples, de manera que el trasvase de productos se realiza mediante el volcado simultaneo de varios carros.

El elemento manipulador se encarga de recepcionar los productos provenientes del acumulador cíclico local correspondiente y posicionarlos en su ubicación final en la máquina dispensadora. Para ello, el elemento manipulador consta de una cinta transportadora accionada por un motor para recepcionar el producto; unos sensores de detección que controlan la posición del producto; un mecanismo palpador accionado por un sistema de correa de transmisión y motor eléctrico provisto con un encoder para el ajuste y medición del producto; dos actuadores lineales, que junto con la cinta transportadora y el palpador permiten la rotación y el volcado del producto; y un sensor de medición de distancia que detecta si hay espacio libre en la máquina dispensadora antes de la descarga del producto. El elemento manipulador se dispone sobre dos unidades de desplazamiento lineales, una vertical y otra horizontal, las cuales le permiten al manipulador moverse a lo ancho y a lo alto de toda la máquina dispensadora.

Con todo ello así, el procedimiento de reposición consiste en introducir uno o más productos de un mismo tipo en cada carro del acumulador cíclico principal, de manera que los productos son conducidos hasta una zona de descarga, en donde son trasvasados a otro carro de un acumulador cíclico local y conducidos a otra zona de descarga, en donde cada producto es trasvasado a un elemento manipulador que lo recibe y lo posiciona correctamente para introducirlo en su correspondiente ubicación en una máquina dispensadora. De esta manera se consigue que los productos se conduzcan hacia la máquina dispensadora que se debe reponer, y que múltiples de estos productos puedan estar circulando a la vez por los acumuladores cíclicos de la instalación mientras varias máquinas dispensadoras están siendo repuestas simultáneamente.

La incorporación de dispensadores automáticos eficientes en los grandes almacenes de distribución, ha solucionado un problema de tiempos importante dentro del sector, sin embargo, la rapidez de dispensación de estas máquinas requieren un esfuerzo muy importante por parte del personal para abastecer constantemente a los dispensadores para que puedan seguir realizando su trabajo, de manera que, donde antes había problemas de tiempo en la dispensación, ahora hay problemas de tiempos en la reposición de los dispensadores.

Es por ello que se hace necesario disponer de una instalación para el reposicionamiento automático de productos comerciales, como la ahora preconizada, que se encargue de reponer las máquinas dispensadoras, manteniendo abastecido al sistema constantemente y evitando, de esta forma, que haya paradas indeseadas en el servicio. La instalación para el reposicionamiento automático es configurable para cumplir con las necesidades del sistema a abastecer, y se caracteriza por un funcionamiento robusto y fiable, así como por tener un mantenimiento económico y sencillo que no requiere de personal cualificado para su realización. De esta manera se eliminan los cuellos de botella en la dispensación del producto, y se garantiza la disponibilidad de producto, facilitando al cliente final un servicio más satisfactorio.

#### Descripción de las figuras

La figura 1 muestra una vista en perspectiva de la instalación para el reposicionamiento automático de productos comerciales objeto de la invención.

La figura 2 muestra una vista en planta de un acu-

mulador cíclico de la instalación para el reposicionamiento automático de productos comerciales.

La figura 3 muestra una vista en perspectiva de una realización preferente de la instalación, con tres niveles de acumuladores cíclicos.

La figura 4 muestra una vista esquemática con diferentes posibles configuraciones para los acumuladores cíclicos de la instalación.

La figura 5 es una vista en perspectiva de uno de los carros portadores de productos que disponen los acumuladores cíclicos.

La figura 6 es una vista en perfil de un carro portador de los productos.

La figura 7 es una vista en perfil del carro de la figura anterior en posición elevada para el trasvase del producto, o productos que transporte.

La figura 8 es una vista en perspectiva del elemento manipulador encargado de recepcionar y posicionar los productos.

La figura 9 muestra una vista en perfil del elemento manipulador montado sobre unas unidades de desplazamiento horizontal y vertical.

Las figuras 10 y 11 muestran en una vista en planta dos fases del procedimiento de posicionamiento de un producto para su correcta inserción en la máquina dispensadora correspondiente.

#### Descripción detallada de la invención

La instalación objeto de la invención para el reposicionamiento automático de productos (1) comerciales presentados en formato de caja paralelepípedica, está constituida por al menos un acumulador cíclico principal (2) que abastece simultáneamente de productos (1) a "n" acumuladores cíclicos locales (3), los cuales a su vez abastecen a "n" máquinas dispensadoras (4) por medio de "n" elementos manipuladores (5), estando relacionada cada máquina dispensadora (4) con un único acumulador cíclico local (3) por medio de un único elemento manipulador (5). Los acumuladores cíclicos (2, 3) están provistos de una pluralidad de carros (6) que se mueven según un recorrido continuo, portando cada uno de los carros (6) un único tipo de producto (1).

Los acumuladores cíclicos (2, 3), encargados de encaminar los productos (1) hacia sus elementos manipuladores (5) correspondientes, pueden colocarse uno encima de otro para aprovechar al máximo el espacio del almacén, pudiéndose disponer, entre el acumulador cíclico principal (2) y los acumuladores cíclicos locales (3), al menos un acumulador cíclico secundario (7) cuando el volumen de productos en la instalación así lo precise, como se muestra en la realización preferente de la figura 3. La instalación permite, cuando así sea necesario, la disposición de varios acumuladores cíclicos (7 y 2), disponiéndose unos encima de los otros. También pueden redimensionarse los acumuladores cíclicos (2, 3, 7) en longitud y anchura, de modo que se varíe el número de carros que portan, y por tanto el número de productos (1) que se encuentran en circulación dentro de la instalación.

Los acumuladores cíclicos (2, 3, 7) están compuestos por unas ruedas dentadas (8) separadas por una distancia variable y accionadas por un motor (9) que por medio de una cadena de transmisión (10) mueve los carros (6), cada uno de los cuáles puede ser cargado con uno o más productos (1) de un mismo tipo.

Los carros (6) portadores de productos (1), según la realización mostrada en la Figura 5, constan de una

base (6.1) que está unida a la cadena de transmisión (10) del acumulador cíclico y una plataforma basculante (6.2) en la que se ubican los productos (1). Dicha plataforma basculante (6.2) dispone preferentemente de dos ángulos de inclinación para contener los productos (1) introducidos en una posición estable y conocida. La plataforma basculante (6.2) del carro (6) puede elevarse, como se muestra en la Figura 7, con el fin de evacuar el producto o productos (1) contenidos en ella. Para ello, el carro (6) dispone de una articulación (6.3) que permite su elevación para la transferencia de los productos (1) hacia otros carros (6) o hacia el elemento manipulador (5). La Figura 6 muestra una vista lateral del carro (6) en el que se aprecian los mecanismos de guiado (6.4), preferentemente ruedas, para mantener estable la posición de la base (6.1) del carro (6) durante su movimiento en el acumulador cíclico (2, 3, 7) correspondiente. Todos los carros (6) de un acumulador cíclico disponen de una identificación única utilizando sistemas estándares como RFID o código de barras. Los acumuladores cíclicos disponen de respectivos lectores de identificación (11) para detectar e identificar cada carro (6). (Ver figura 2).

Existen diversas configuraciones posibles para los acumuladores cíclicos (2, 3, 7), como se muestra en la Figura 4, en función de las necesidades y el volumen de mercancía con el que trabaje el almacén. Una solución preferente consiste en instalar un acumulador cíclico (2) que actúe como acumulador cíclico principal, varios acumuladores cíclicos (7) que actúen como acumuladores cíclicos secundarios y tantos acumuladores cíclicos locales (3) como máquinas dispensadoras (4) a reponer existan. Una vez los productos (1) se encuentran en el acumulador cíclico principal (2), comienzan a circular hasta llegar a la zona de descarga (12, 13) que les corresponda, situada sobre la zona de recepción (14, 15) del acumulador cíclico secundario (7) correspondiente, en función de la ubicación final donde los productos (1) tengan que ser almacenados.

Las zonas de descarga pueden ser simples, como las zonas de descarga (12), o múltiples, como las zonas de descarga (13). Las zonas de descarga (12) simples transfieren los productos (1) de una vez, es decir, un actuador lineal (16) incide sobre un único carro (6) provocando su elevación y la salida del producto o productos (1) contenidos en dicho carro (6), mientras que en las zonas de descarga (13) múltiples se transfieren a la vez los productos (1) contenidos en varios carros (6) (en función de las necesidades del sistema), para ello, un único actuador lineal (16) incide sobre varios carros (6) con la ayuda de un útil (17) acoplado al actuador lineal (16). Análogamente, las zonas de recepción de productos (1) pueden ser zonas de recepción simples (14) o zonas de recepción múltiples (15).

Al realizar la transferencia de un producto (1) desde un acumulador cíclico principal (2) a otro acumulador cíclico secundario (7), ambos se detienen instantáneamente, utilizando un detector de parada (18), para efectuar la transferencia de uno o varios productos (1) a través del volcado del carro o carros (6) que los portan, y se dispone de un tobogán (19) y de un sensor de detección (20), preferentemente óptico, que detecta la correcta salida de cada producto (1) en su tránsito a otro acumulador cíclico. Al finalizar una transferencia, los acumuladores cíclicos (2, 3, 7) siguen avanzando hasta la próxima transferencia. Este

proceso de transferencia se repite tantas veces como sea necesario para que todos los productos (1) lleguen al acumulador cíclico local (3) correspondiente.

Cuando un producto (1) llega al acumulador cíclico local (3), éste lo descarga sobre el elemento manipulador (5) correspondiente a su máquina dispensadora (4), empleando el mismo sistema de transferencia de productos (1) mediante el volcado de un carro (6) que es utilizado en la transferencia de los productos de los carros (6) entre los acumuladores cíclicos (2, 3, 7).

El elemento manipulador (5), mostrado en la Figura 8, se sitúa en la parte trasera de la máquina dispensadora (4) y es el encargado de almacenar el producto (1) en su ubicación final en la máquina dispensadora (4). El elemento manipulador (5) se coloca sobre dos unidades lineales de desplazamiento, una horizontal (X), y otra vertical (Z), las cuáles le permiten moverse a lo ancho y alto de toda la máquina dispensadora (4), como se aprecia en la Figura 9.

El elemento manipulador (5) dispone de una cinta transportadora (21) accionada por un motor (22), que es la encargada de recepcionar el producto (1) y de expulsarlo hacia la máquina dispensadora (4); unos sensores de detección (23), que controlan la posición del producto (1) en la cinta transportadora (21); un mecanismo palpador (24) sujetado por un soporte (25), que es accionado por un sistema de correa de transmisión (26), la cual es actuada por un motor eléctrico (27) provisto de un encoder (28), para el ajuste y medición del producto (1); dos actuadores lineales (29, 30), que junto con la cinta transportadora (21) y el palpador (24) permiten la rotación o el volcado del producto (1); y un sensor de medición de distancia (31), que detecta si hay espacio libre en la máquina dispensadora (4) antes de la descarga del producto (1). Opcionalmente, el elemento manipulador (5) puede incluir una cámara (32), para la visualización remota del proceso de reposicionamiento.

El elemento manipulador (5) mide y centra el producto (1), para comprobar que está en la posición adecuada. En la Figura 10 se muestra un producto (1), palpado y medido. En caso de que hubiera que rotar o volcar el producto (1) se inicia un proceso de giro o volcado, empleando los actuadores lineales (29, 30), la cinta transportadora (21) y el mecanismo palpador (24). En la Figura 11, se muestra el proceso de rotación de un producto (1). La cinta transportadora (21) retrocede al producto (1) previamente ajustado con el mecanismo palpador (24), hasta una posición por detrás del actuador lineal (29), lo cual es detectado por los sensores de detección (23). Para ello el palpador (24) se mueve liberando el producto (1) y cuando se produce el retroceso el actuador lineal (29) es activado. A continuación la cinta transportadora (21) inicia de nuevo el avance, lo cual hace que el producto (1) golpee con el vástago del actuador lineal (29) provocando su rotación. El proceso se completa con un nuevo ajuste y medición del producto (1) mediante el mecanismo palpador (24). Una vez verificada la correcta posición del producto (1), el elemento manipulador (5) es transportado a través de las unidades de desplazamiento lineales (X, Z), hasta la ubicación en la que el producto (1) tiene que ser descargado, realizándose la descarga por la acción de avance de la cinta transportadora (21).

A la hora de introducir e identificar los productos (1) en el sistema hay varias opciones, mostradas en la

Figura 4. La más simple de todas es la identificación manual de los productos (1) por parte de un operario mediante una PDA o un PC. El operario lee el código de barras o la etiqueta RFID del producto (1) y lo deposita en el carro (6) de entrada del acumulador cíclico principal (2), en una zona de carga (33) habilitada para ello. Otra posibilidad consiste en depositar el producto (1) en el carro (6) sin identificación previa, siendo el propio sistema quien identifique todos los productos (1) que se inserten, mediante la lectura de estándares, como RFID o código de barras, por medio de lectores (34) situados estratégicamente a lo largo de los acumuladores cíclicos.

Otro método de carga de productos (1) en los acumuladores es mediante un dispensador-cargador (35), análogo a las máquinas dispensadoras (4). Consiste en introducir los productos (1) en una máquina dis-

pensadora convencional, de columna vertical o balda inclinada, de forma que los productos (1) se descarguen automáticamente en los carros (6) del acumulador principal (2). Al igual que en los otros métodos, la identificación del producto puede ser realizada por el operario antes de introducir los productos (1) en el dispensador-cargador (35), o la identificación puede ser automática a través de lectores (34) del acumulador principal (2).

Se ha previsto que a lo largo de todos los acumuladores cíclicos (2, 3, 7) se disponga una pletina (36) para el guiado de los carros (6) y para evitar que los productos (1) contenidos en ellos puedan salir por inercia fuera del acumulador cíclico respectivo. La pletina (36) se extiende en toda la zona perimetral de los acumuladores cíclicos, salvo en las zonas de descarga (12, 13) para el trasvase de los productos (1).

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

## REIVINDICACIONES

1. Instalación para el reposicionamiento automático de productos comerciales, **caracterizada** porque está constituida por al menos un acumulador cíclico principal (2) que abastece simultáneamente de productos (1) a “n” acumuladores cíclicos locales (3), los cuales a su vez abastecen a “n” máquinas dispensadoras (4) por medio de “n” elementos manipuladores (5), siendo “n” un número natural, y en donde los acumuladores cíclicos (2, 3) están provistos de una pluralidad de carros (6) que se mueven según un recorrido continuo, portando cada uno de los carros (6) un único tipo de producto (1).

2. Instalación para el reposicionamiento automático de productos comerciales, de acuerdo con la primera reivindicación, **caracterizada** porque los acumuladores cíclicos (2, 3) presentan una configuración en cascada, disponiéndose los acumuladores cíclicos locales (3) abastecedores de las máquinas dispensadoras (4) en una altura inferior a la del acumulador cíclico principal (2).

3. Instalación para el reposicionamiento automático de productos comerciales, de acuerdo con la primera reivindicación, **caracterizada** porque los acumuladores cíclicos (2, 3) comprenden unas ruedas dentadas (8) accionadas por un motor (9), sobre las cuales va dispuesta una cadena de transmisión (10) que arrastra a los carros (6), yendo en el contorno periférico una pletina (36) de contención.

4. Instalación para el reposicionamiento automático de productos comerciales, de acuerdo con la primera reivindicación, **caracterizada** porque los carros (6) comprenden una base (6.1), la cual dispone unos mecanismos de guiado (6.4) para el desplazamiento a largo del acumulador cíclico (2, 3) correspondiente, y una plataforma basculante (6.2) portadora del producto o productos (1), la cual es elevable mediante giro sobre una articulación (6.3), yendo cada carro (6) provisto con unos medios de identificación única.

5. Instalación para el reposicionamiento automático de productos comerciales, de acuerdo con la primera reivindicación, **caracterizada** porque los acumuladores cíclicos (2, 3) disponen de, al menos, una zona de descarga (12) simple, desde la que se descargan los productos (1) a través de un tobogán (19) de trasvase a otro acumulador cíclico o al elemento manipulador (5) correspondiente.

6. Instalación para el reposicionamiento automático de productos comerciales, de acuerdo con la primera reivindicación, **caracterizada** porque los acumuladores cíclicos (2, 3) disponen de, al menos, una zona de descarga (13) múltiple, desde la que se descargan varios productos (1) a través de respectivos toboganes (19) de trasvase a otro acumulador cíclico o a los elementos manipuladores (5) correspondientes.

7. Instalación para el reposicionamiento automático de productos comerciales, de acuerdo con la primera reivindicación, **caracterizada** porque el elemento

manipulador (5) consta de una cinta transportadora (21) para recepcionar el producto (1); unos sensores de detección (23) que controlan la posición del producto (1); un mecanismo palpador (24) accionado para el ajuste y medición del producto (1); dos actuadores lineales (29, 30) que permiten la rotación y el volcado del producto (1); y un sensor de medición de distancia (31) que detecta si hay espacio libre en la máquina dispensadora (4) a la que va destinado el producto (1).

8. Instalación para el reposicionamiento automático de productos comerciales, de acuerdo con la primera reivindicación, **caracterizada** porque los acumuladores cíclicos (2, 3) disponen de un detector de parada (18) que detiene el movimiento cuando se va a realizar un trasvase de producto (1), un lector de identificación (11) que identifica los carros (6) que realizan el trasvase y un sensor de detección (20) que verifica el trasvase.

9. Instalación para el reposicionamiento automático de productos comerciales, de acuerdo con la primera reivindicación, **caracterizada** porque el acumulador cíclico principal (2) dispone de un lector (34) para identificar los productos (1) que se disponen en los carros (6).

10. Instalación para el reposicionamiento automático de productos comerciales, de acuerdo con la primera, quinta y sexta reivindicaciones, **caracterizada** porque las zonas de descarga (12, 13) disponen de un actuador lineal (16) que provoca la transferencia de los productos (1) mediante el volcado de los carros (6) correspondientes.

11. Instalación para el reposicionamiento automático de productos comerciales, de acuerdo con la primera reivindicación, **caracterizada** porque, entre el acumulador cíclico principal (2) y los acumuladores cíclicos locales (3), se dispone al menos un acumulador cíclico secundario (7), de igual configuración que los anteriores, cuando el volumen de productos (1) en la instalación así lo precise.

12. Procedimiento de reposición, para el reposicionamiento automático de productos comerciales con la instalación de la primera reivindicación, **caracterizado** porque los productos (1) a reponer son introducidos en respectivos carros (6) que forman parte de un acumulador cíclico principal (2), mediante el cual son conducidos hasta una zona de descarga (12, 13), en donde los productos (1) son trasvasados a respectivos carros (6) que forman parte de acumuladores cíclicos locales (3), desde donde cada producto (1) es trasvasado a un elemento manipulador (5) que le recepciona y le posiciona correctamente para introducirle en una máquina dispensadora (4).

13. Procedimiento de reposición, de acuerdo con la doceava reivindicación, **caracterizado** porque para posicionar correctamente cada producto (1) el elemento manipulador (5) mide la anchura del producto (1) y lo gira o voltea, si es necesario, para colocarlo en la posición correcta para su introducción en la máquina dispensadora (4) a la que vaya destinado.

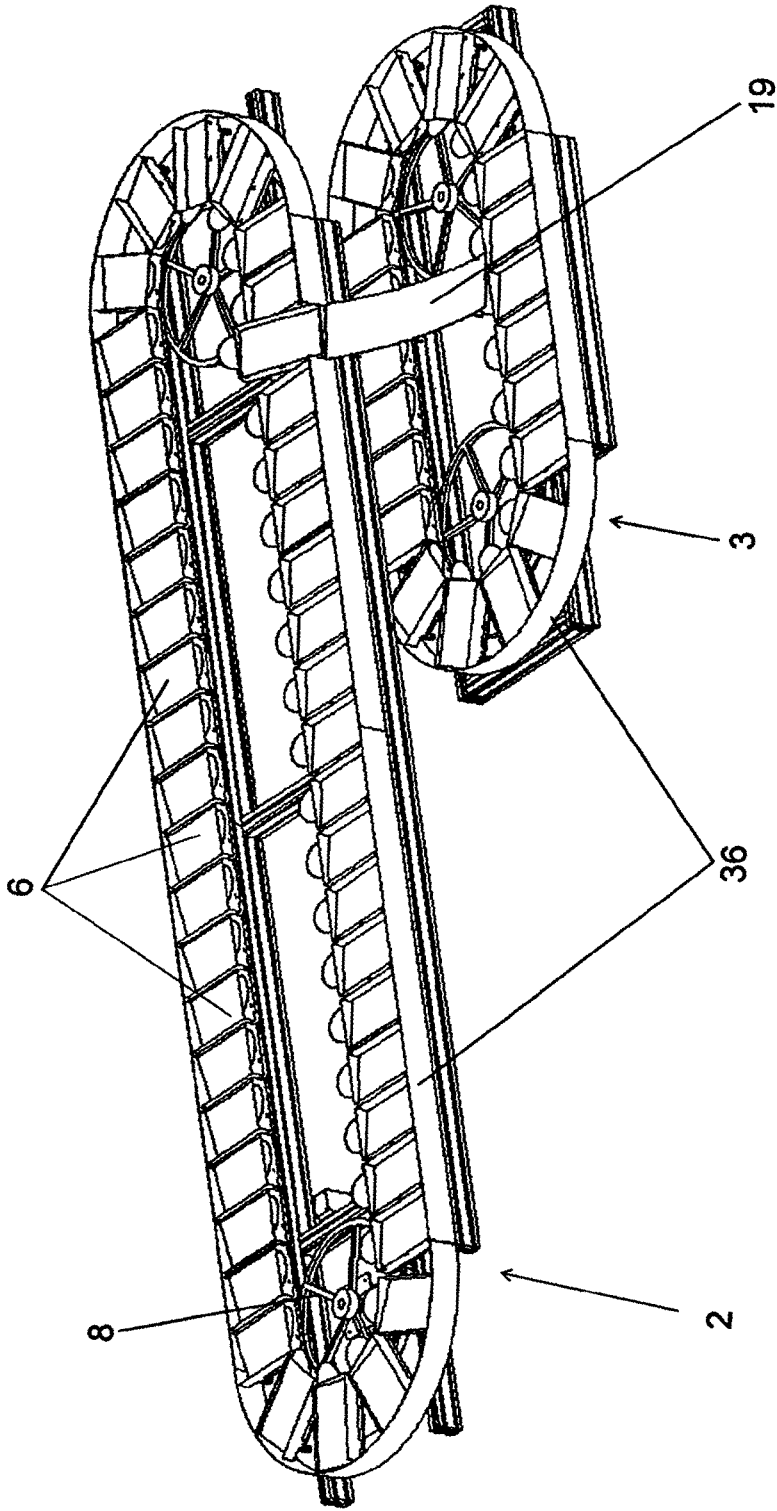


Fig. 1

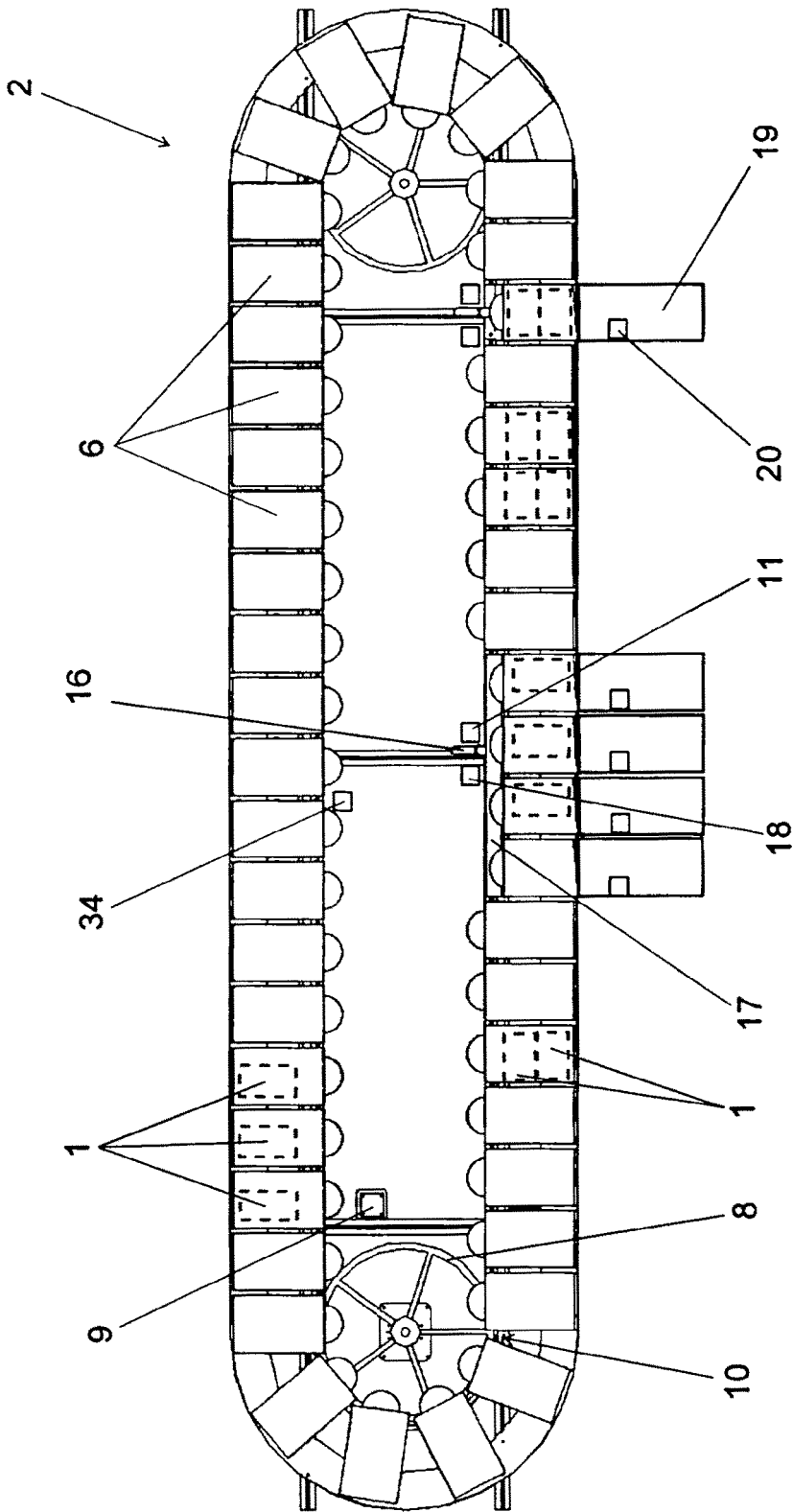


Fig. 2

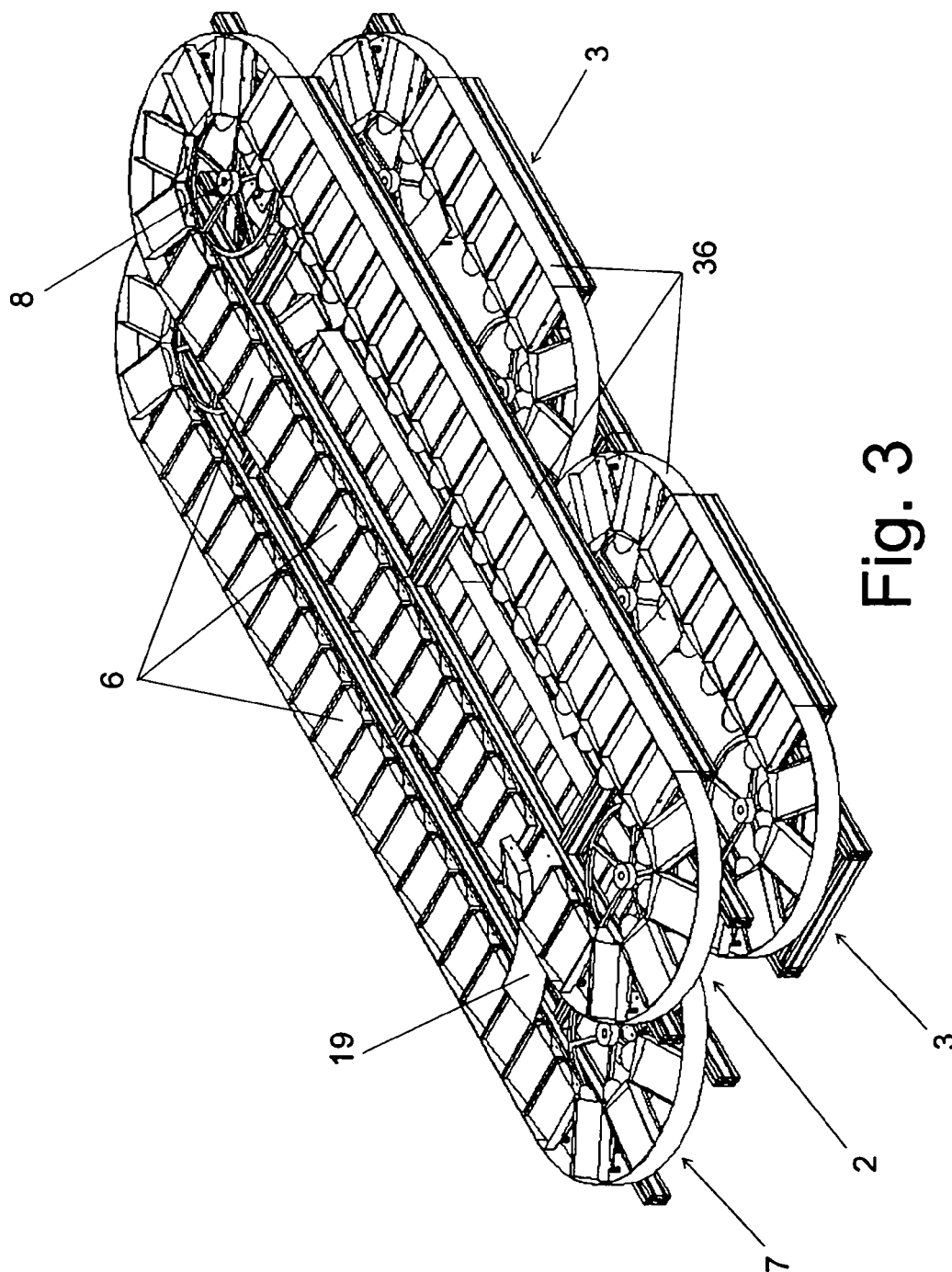


Fig. 3

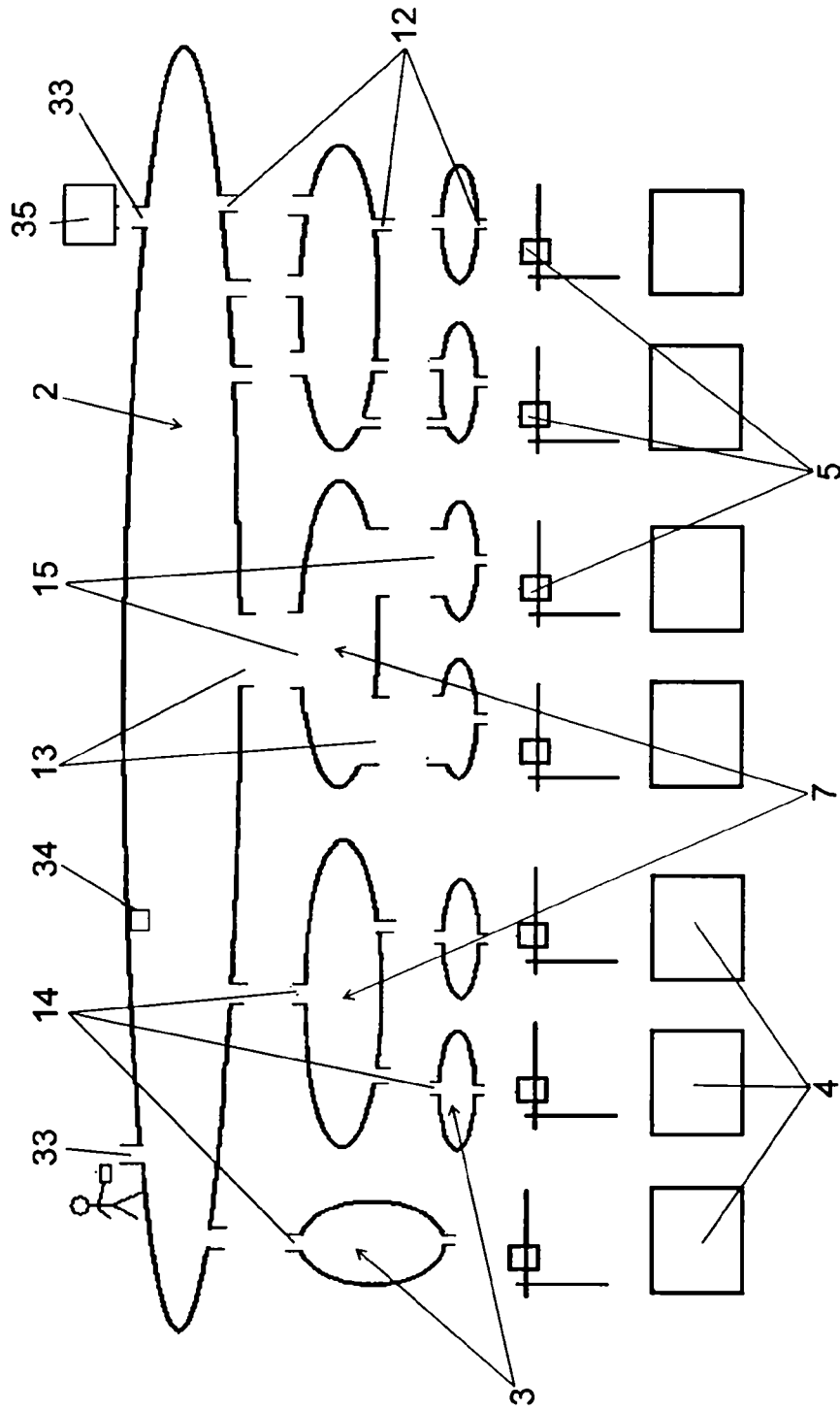


Fig. 4

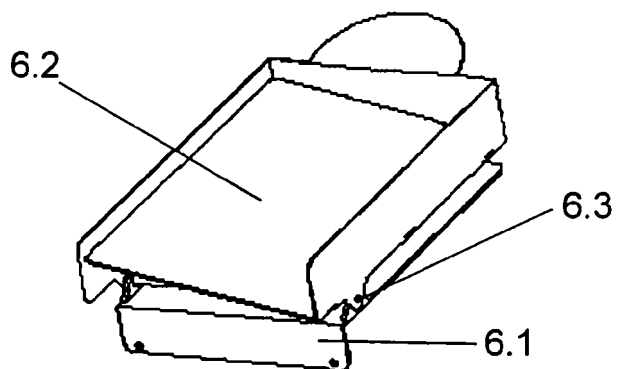


Fig. 5

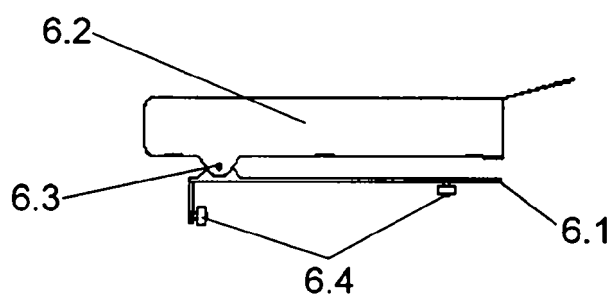


Fig. 6

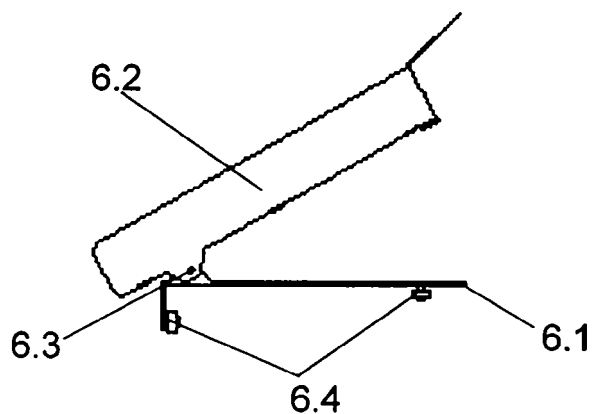


Fig. 7

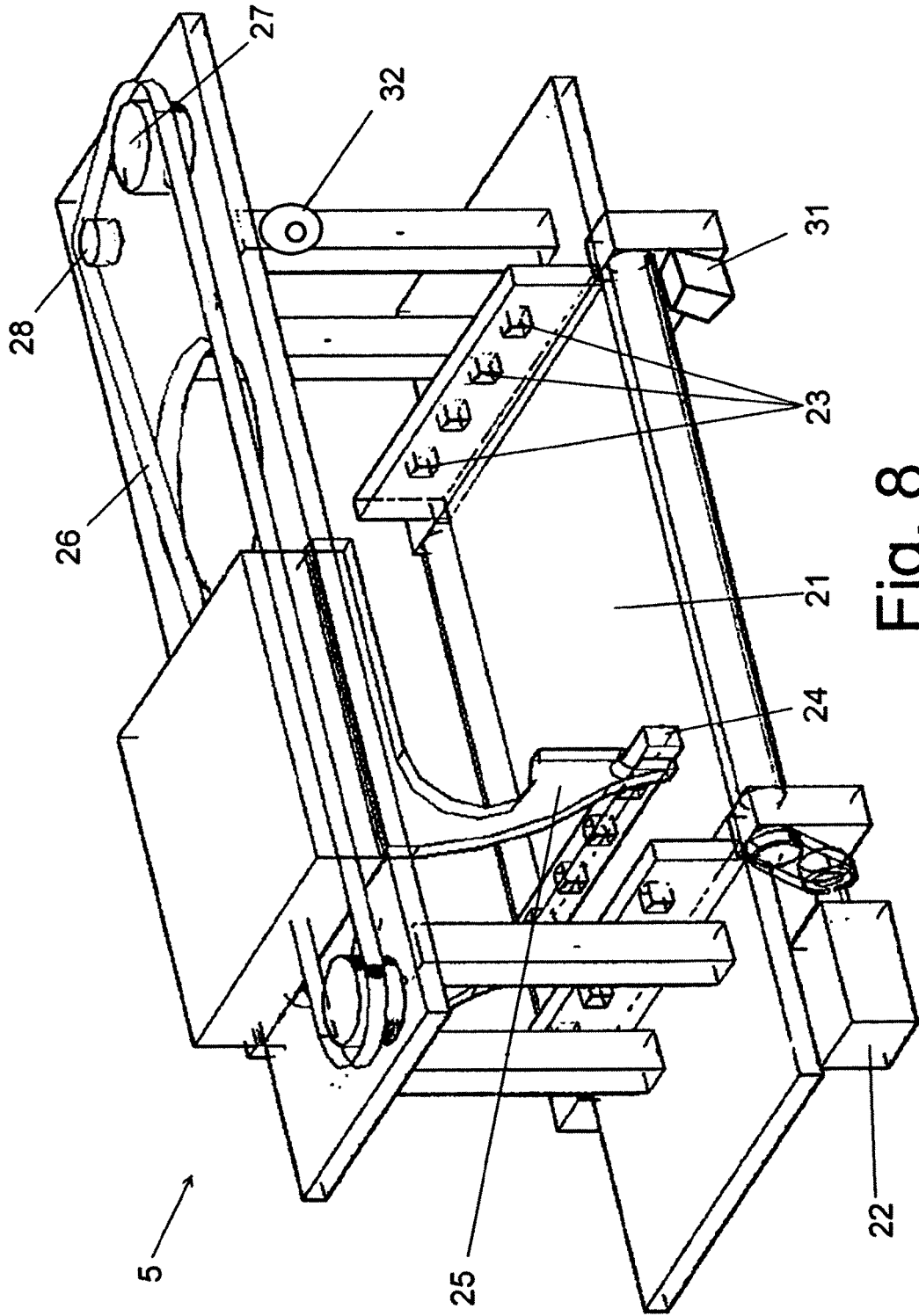


Fig. 8

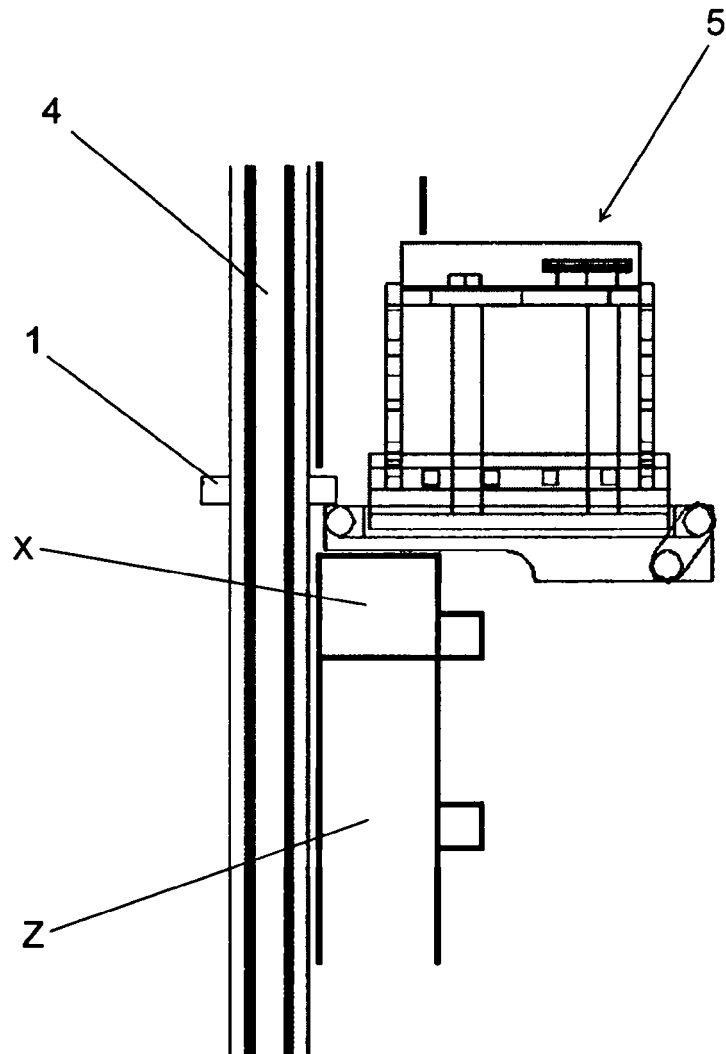


Fig. 9

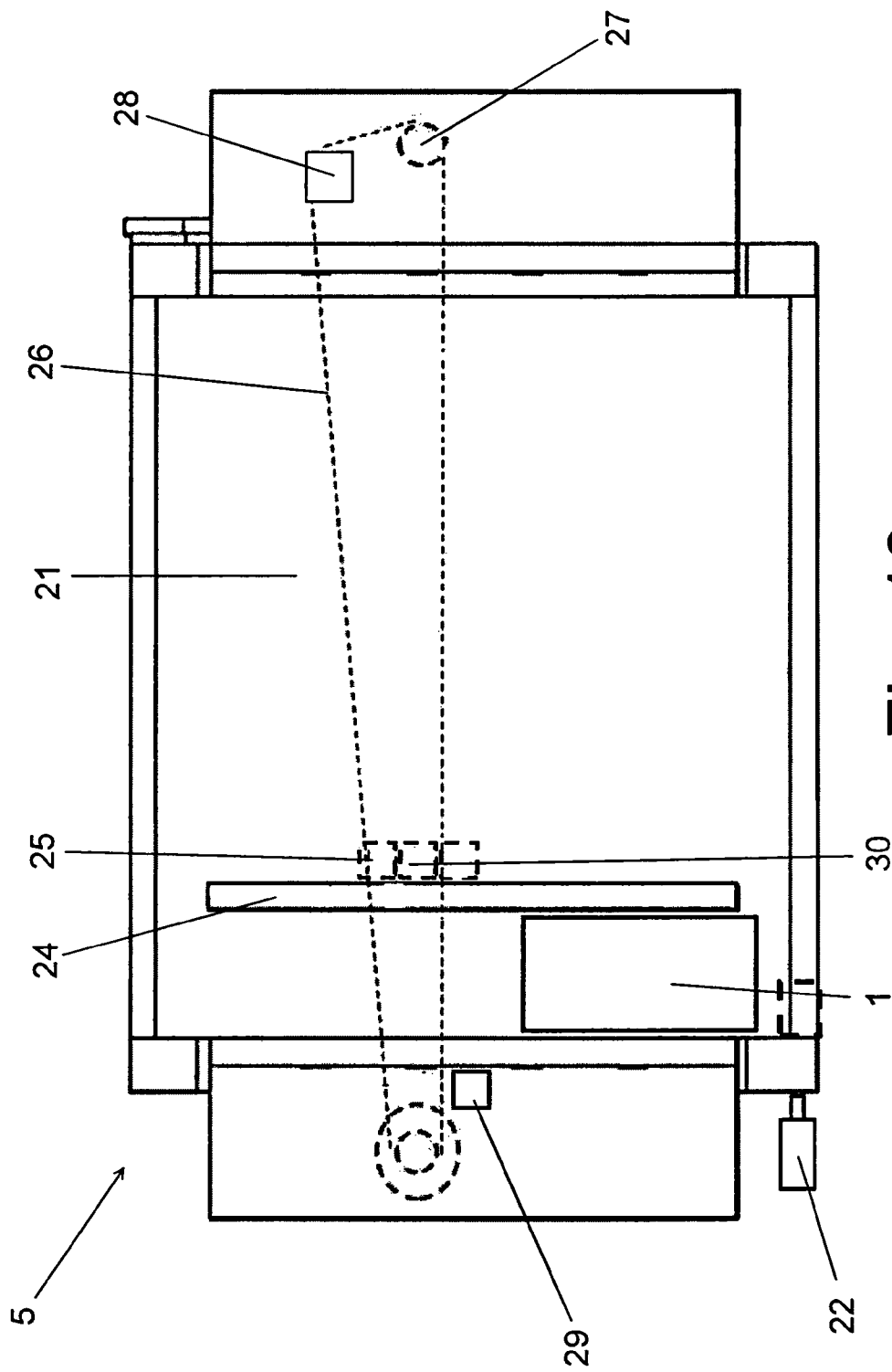


Fig. 10

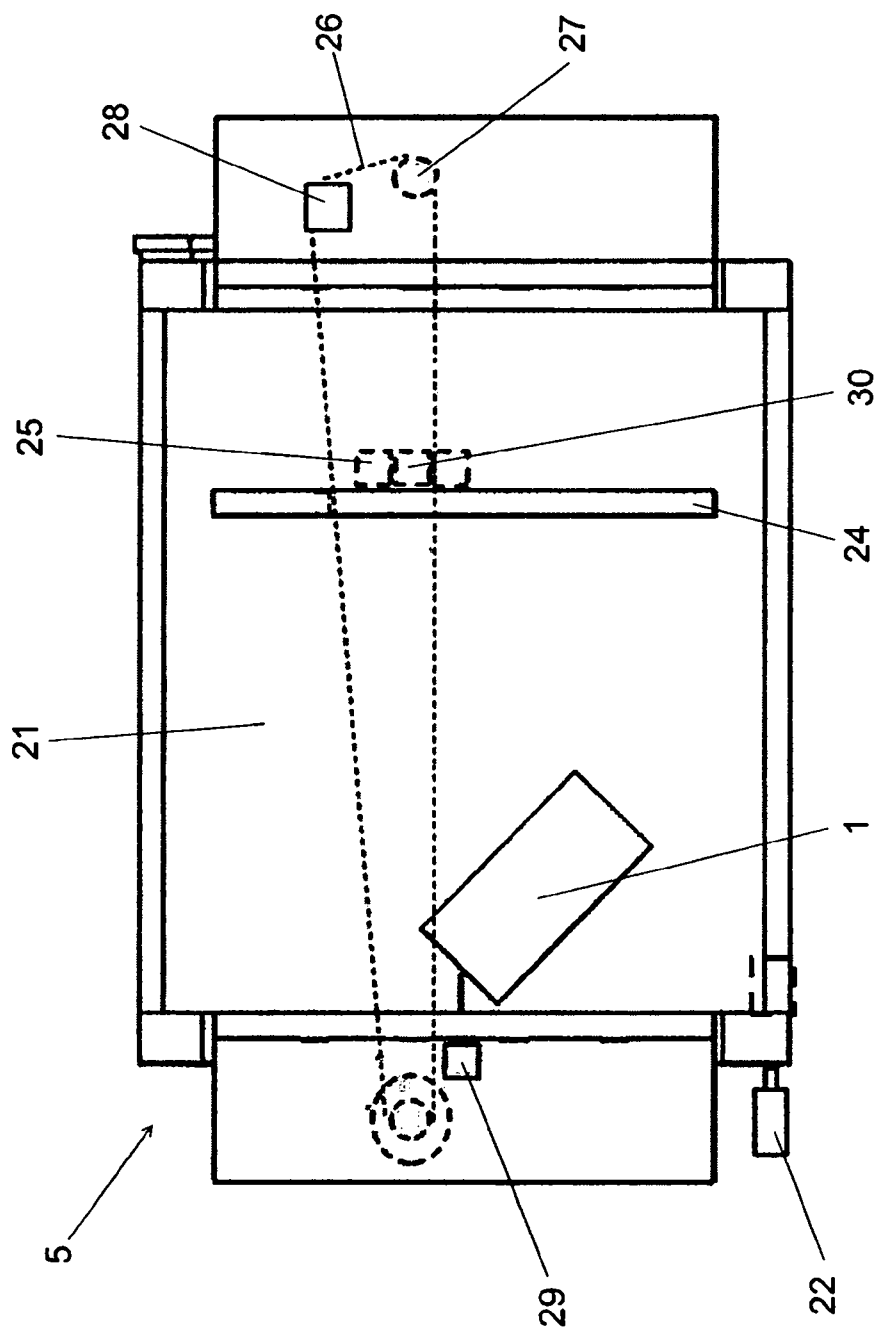


Fig. 11



OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

① Número de publicación: **2 328 656**

② Número de solicitud: 200801388

⑤ Int. Cl.:

**G07F 11/32** (2006.01)

**G07F 11/28** (2006.01)

**G07F 5/18** (2006.01)

**G07F 7/08** (2006.01)

⑫

PATENTE DE INVENCION

B1

⑫ Fecha de presentación: **14.05.2008**

⑬ Fecha de publicación de la solicitud: **16.11.2009**

Fecha de la concesión: **04.05.2010**

Fecha de modificación de las reivindicaciones: **23.04.2010**

⑮ Fecha de anuncio de la concesión: **25.05.2010**

⑮ Fecha de publicación del folleto de la patente: **25.05.2010**

⑰ Titular/es: **MICROTIKER, S.L.**  
**c/ Rodríguez Arias, nº 6 - Dpto. 103**  
**48008 Bilbao, Vizcaya, ES**

⑱ Inventor/es: **Trueba Parra, Iván**

⑳ Agente: **Buceta Facorro, Luis**

⑳ Título: **Instalación para la dispensación automática y reposición semiautomática de productos comerciales.**

㉑ Resumen:

Instalación para la dispensación automática y reposición semiautomática de productos comerciales, del tipo de productos de los que se presentan en cajas paralelepípedicas, tales como ciertos productos farmacéuticos, electrónicos o alimenticios; formada por, al menos, una balda inclinada (8), sobre la que se ubican los productos (10) a dispensar, separados en carriles por unas guías (6) ajustables y apoyados uno detrás de otro, al deslizarse por la balda (8); al menos un elemento dispensador individual por cada carril; yendo dotado cada elemento dispensador de una electrónica de control autónoma, un sensor de detección de presencia (2), un dispositivo actuador (1) de tipo electromagnético, un indicador luminoso frontal (4), un tope (11) para el frenado de los productos (10) en la balda inclinada (8) y unos conectores para su interconexión con otros elementos dispensadores; y, al menos un indicador luminoso (13) por cada carril, ubicado en la zona trasera de la balda (8), relacionado con un lector del código de barras dispuesto sobre cada producto (10); todo ello de manera que la electrónica de control genera la activación del dispositivo actuador (1) electromagnético, que eleva el correspondiente producto (10) a dispensar por encima del tope (11), provocando su salida del carril y el posicionamiento, por gravedad, de un nuevo producto sobre el dispositivo actuador (1); mientras que el indicador luminoso trasero (13), en función de la información

proporcionada por el lector (26) de código de barras, avisa ópticamente de la falta de productos en un carril, de su reposición y/o de averías.

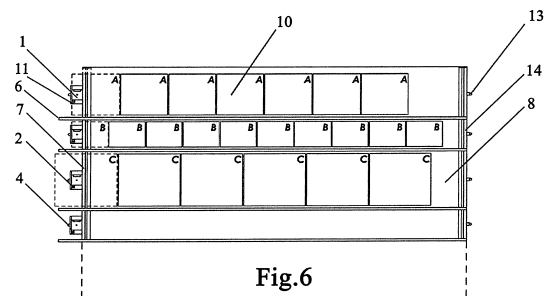


Fig.6

ES 2 328 656 B1

Aviso: Se puede realizar consulta prevista por el art. 37.3.8 LP.

**DESCRIPCIÓN**

Instalación para la dispensación automática y reposición semiautomática de productos comerciales.

**5 Sector de la técnica**

La presente invención se refiere a una instalación para la dispensación automática y reposición semiautomática de productos comerciales presentados en formato de caja paralelepípedica, de planta cuadrada o rectangular, tales como ciertos productos farmacéuticos, electrónicos o alimenticios y está indicada tanto para almacenes de distribución como comercios especializados o farmacias, pudiendo seleccionarse un conjunto de artículos desde un ordenador y obtenerlos en un punto de recogida, en un tiempo reducido y reponiendo el material extraído con la ayuda de indicadores luminosos.

**15 Antecedentes de la invención**

Actualmente, en ciertos comercios especializados como farmacias, almacenes electrónicos o ferreterías, el cliente solicita ciertos productos a un vendedor cualificado quien posteriormente recorre el almacén o tienda en busca de los artículos, los cuales se encuentran dispuestos en estanterías o armarios. La forma de operar de muchos almacenes de distribución es similar, se recogen los pedidos de los clientes, que en este caso son los comercios, y varios operarios cualificados deben recorrer el almacén, en busca de los productos solicitados hasta completar cada pedido.

Existen soluciones robóticas para la automatización de estos procesos de recogida de productos que están más orientadas a los almacenes de distribución que a los comercios especializados. Este tipo de soluciones consisten en robots cartesianos que se van desplazando sobre unas guías ubicadas horizontal y verticalmente delante de las estanterías en las que se encuentran los artículos. El robot manipulador realiza un movimiento sobre estas guías hasta colocarse delante del artículo seleccionado, para proceder a su extracción o deposición.

Estos robots pueden resultar lentos, para ciertos almacenes con gran volumen de artículos en dispensación, ya que el robot sólo puede extraer los productos de uno en uno, hasta completar el pedido y depositarlos en el punto de recogida. La instalación de estos robots en los comercios especializados o farmacias resulta compleja por el gran volumen, alto consumo eléctrico y peso del robot manipulador por ejes cartesianos. Asimismo, cabe destacar que estos robots requieren un mantenimiento complejo y caro, así como un apantallamiento, mediante cristaleras u otros medios, de la zona de funcionamiento del manipulador robótica, por el riesgo de provocar lesiones o daños físicos en caso de golpear a una persona durante sus desplazamientos. Debido a la instalación de seguridad inherente a este tipo de robots manipuladores, también suele ser necesario que el comercio u almacén disponga de un stock de seguridad de ciertos artículos, previniendo una posible avería del robot manipulador, ya que, por motivos de seguridad, no existe acceso para las personas al stock manipulado por el robot.

Otras soluciones tecnológicas para la ayuda al proceso de dispensación y reposición del material de los almacenes consiste en el empleo de ordenadores portátiles de mano, tipo PDA, mediante el cual el operario puede acceder a una base de datos en la que se muestra información referida a la ubicación en la que se encuentran los productos en el interior del almacén.

La patente de Estados Unidos número 5,141,128 muestra un tipo de dispensador vertical que puede depositar productos sobre una cinta transportadora, de forma que múltiples dispensadores verticales puedan accionarse de forma simultánea en una instalación para proceder a la deposición de los productos. Este sistema requiere de un mecanismo que ocupa un volumen superior al del tamaño de los productos que son albergados y la reposición debe realizarse de forma manual sin la ayuda de dispositivos indicadores, siendo muy compleja su instalación en comercios especializados. Otras patentes de aplicaciones para la dispensación de productos, como la patente europea EP 1 357 526 A2, muestran un sistema en el que los productos de cada tipo se albergan en una balda horizontal dispuesta de unos separadores y que es accionada por un mecanismo que se desplaza hasta accionar la balda para proceder a la salida de un producto. Este sistema debe realizar la dispensación de artículos de diverso tipo de forma individual, al disponer de un elemento accionador único que se desplaza por las diversas baldas horizontales. La mayoría de los sistemas de dispensación con estas características están más orientados al desarrollo de máquinas lentas de dispensación, tipo vending, que a la automatización de procesos de almacenaje automático con grandes requerimientos de volumen de productos y velocidad.

**Problema técnico planteado**

En los almacenes de distribución y los comercios especializados, sería por tanto deseable disponer de un tipo de instalación automática que fuera capaz de dispensar, de forma simultánea y a gran velocidad todos los artículos solicitados por un cliente. Además esta instalación debe ser segura ante los operarios, para poder acceder siempre de forma manual al almacén automatizado, sin requerimiento de stocks de seguridad ante averías y no debe necesitar de gran volumen de espacio, pudiéndose instalar de forma distribuida y modular; con un mantenimiento sencillo y económico, sin necesidad de técnicos altamente cualificados; y ecológica, con un bajo consumo eléctrico y reducido peso. Este tipo de instalación debiera ser configurable a las dimensiones y particularidades de cada tipo de producto y almacén o comercio. También debiera disponer de sistemas semiautomáticos, para la ayuda a la reposición de los artículos que son extraídos de forma automática.

## Descripción de la invención

La presente invención muestra un tipo de instalación basada en dispositivos mecánico/electrónicos que se ubican de forma distribuida a lo largo de baldas inclinadas que disponen de carriles ajustables para ubicar cada tipo de artículo. En la parte trasera de la balda se coloca un indicador luminoso, por cada carril, utilizado para mostrar la ubicación de cada producto en el proceso de reposición y avisando de la falta de productos en un carril. Los dispositivos dispensadores disponen de una electrónica de control que les permiten estar dotados de un cierto grado de inteligencia, pudiendo recibir cada dispositivo los datos totales de cada pedido desde un ordenador y dispensando los artículos de cada tipo solicitados de forma rápida y simultánea.

Cada dispositivo dispensador está dotado de una electrónica de control individual, un mecanismo empujador basado en un dispositivo electromagnético, un sensor de detección de presencia, un led visualizador y unos conectores para la interconexión a otros dispositivos dispensadores mediante cables. Estos elementos se ubican en el extremo frontal de una estantería o balda que se encuentra inclinada, de manera que todos los productos, de forma cuadrada o rectangular, puedan deslizarse por ella, por efecto de la gravedad. El primer producto introducido en la balda se desliza hasta que hace tope con la pieza de soporte dispuesta en la zona final del elemento dispensador. El resto de productos introducidos en el mismo carril se van colocando uno detrás de otro. Existen unas guías utilizadas para separar cada tipo de producto que es manejado por un dispositivo dispensador diferente. La posición de las guías y la de los dispensadores puede ser ajustada fácilmente para adaptarse a las características de tamaño de los diversos tipos de productos.

Cuando se inicia el proceso de dispensación de un producto, el elemento accionador es activado, haciendo que el producto se eleve por encima del tope, para ser extraído. El siguiente producto del mismo carril se ubica por efecto de la gravedad en el hueco que ha dejado libre el producto que ha sido extraído. Mediante el sensor de detección de presencia colocado en el dispositivo dispensador, se puede comprobar la correcta extracción de cada artículo. También es posible detectar averías y la ausencia de productos en el carril, eventos que son mostrados en el diodo led visualizador del dispensador o en el diodo led ubicado en la zona trasera de la balda inclinada.

Al tener integrado cada dispensador la electrónica de control inteligente e individual, no es necesario utilizar autómatas industriales ni sistemas de control centralizados, facilitando la instalación de los dispensadores en distintos niveles de baldas o en armarios distribuidos por una instalación. Todos los tipos de productos pueden ser extraídos al mismo tiempo por los diversos dispensadores automáticamente, siendo depositados en una cinta transportadora que los lleva hasta un punto de recogida. La instalación de las baldas inclinadas con los dispensadores puede realizarse en armarios enfrentados para que los productos caigan hacia una misma cinta transportadora y colocando rampas para el frenado de la caída de cada producto desde la ubicación del dispensador hasta la altura de la cinta transportadora.

Para iniciar el proceso de dispensación, un ordenador envía una orden que es recibida por todos los elementos dispensadores de forma simultánea.

Para realizar la reposición de los productos en las baldas inclinadas, el operario procede a la identificación de un producto utilizando un lector de código de barras que envía el código del producto a la electrónica de control de leds ubicada en la zona trasera de cada balda y que ilumina el diodo led ubicado en el carril correspondiente al producto a reponer en modo parpadeo. De esta forma el operario ya ve de forma directa en que carril debe reponer ese producto.

Este mismo diodo led se enciende de forma permanente cuando un carril de productos se ha quedado vacío y cambia a modo parpadeo cuando el lector de código de barras detecta que este producto se va a reponer.

Además del diodo led colocado en la zona trasera de la balda para la ayuda a la reposición, existe otro diodo led por carril que es colocado en la zona frontal del elemento dispensador que igualmente puede utilizarse para indicar la ubicación de un producto a reponer y un estado de avería del dispensador. Este diodo led también puede ser empleado para funciones de estética al combinar su encendido con el del resto de diodos led de los dispensadores de la instalación. Esta función estética es adecuada para las instalaciones del robot en comercios cara al público. En estas instalaciones, también puede ser colocada una pantalla TFT en la zona superior del armario con imágenes o vídeos comerciales.

Para facilitar el proceso de instalación y las labores de mantenimiento, tanto los dispensadores individuales como los diodos led traseros para la ayuda a la reposición, son colocados en estructuras metálicas ranuradas que son independientes de las baldas en las que se ubican los productos. Estas estructuras, con los dispensadores o leds colocados e interconectados, pueden ser rápidamente instaladas en una balda. En caso de una labor de mantenimiento, un dispensador o led averiado puede ser extraído de la estructura ranurada individualmente, sin afectar durante la reparación al resto de la instalación.

La reposición de los productos en los carriles de las baldas puede realizarse tanto por la zona en la que se encuentra el elemento dispensador como desde la zona trasera en la que se ubica el diodo led de reposición, siendo esta última la opción preferente. En esta zona de reposición de la balda también existe un espacio para la colocación de etiquetas magnéticas que contengan una descripción de las características del artículo que se encuentra en cada ubicación de la balda.

## ES 2 328 656 B1

Existe la posibilidad de iniciar el proceso de dispensación desde un punto de acceso remoto, accesible directamente por los clientes del comercio mediante una pantalla táctil. Este proceso de dispensación utilizado tan sólo para determinado tipo de artículos, es completado previo pago del importe de los artículos seleccionados con la pantalla táctil utilizando unos medios de pago tipo monedero, billetero o tarjeta de crédito.

5

### Breve descripción de los dibujos

En los dibujos adjuntos se ilustra, a título de ejemplo no limitativo, un modo de realización preferido de la instalación para la dispensación automática y reposición semiautomática de productos comerciales objeto de la invención. En dichos dibujos:

10

La figura 1 es una vista de perfil del dispositivo mecánico y electrónico de dispensación.

15

La figura 2 es una vista en planta del dispositivo mecánico y electrónico de dispensación.

La figura 3 es una vista en perspectiva de la instalación de dispositivos dispensadores en baldas inclinadas con diversos productos.

20

La figura 4 es una vista en perspectiva frontal de la balda inclinada apreciando los carriles para productos y los elementos de dispensación instalados e interconectados.

La figura 5 es una vista de perfil del disparador y el indicador luminoso para reposición colocados en una balda inclinada.

25

La figura 6 es una vista en planta de los disparadores y los indicadores luminosos para reposición en una balda inclinada.

La figura 7 es una vista ampliada del detalle VII indicado en la figura 5 que muestra el proceso de instalación del elemento dispensador en la balda inclinada.

30

La figura 8 es una vista ampliada del detalle VIII indicado en la figura 5 que muestra el proceso de instalación del indicador luminoso para reposición en la balda inclinada.

35

La figura 9 es una vista de perfil del disparador activado procediendo a la dispensación de un producto de un carril.

La figura 10 es un esquema de la instalación objeto de la invención.

La figura 11 es una vista de perfil de una instalación con múltiples baldas con elementos de dispensación y reposición y cinta transportadora.

40

### Descripción detallada de los dibujos

En la figura 1 se muestra una vista de perfil del dispositivo mecánico/electrónico encargado de la dispensación de un tipo de producto en la instalación. La figura 2, muestra una vista en planta del mismo dispositivo. El dispositivo dispone de una electrónica de control (20) capaz de recibir, mediante un bus de alimentación y comunicaciones, los datos de cada pedido, para proceder a la extracción de los productos. El mecanismo de extracción está basado en un solenoide (1) que al recibir un impulso eléctrico desplaza un vástago (12); de forma que el producto situado encima de él es impulsado superando un tope de frenado (11) de los productos en la balda. El vástago dispone de un muelle que sirve para que éste retorne a su posición de reposo cuando finaliza el impulso eléctrico y que pueda situarse otro producto encima del mecanismo dispensador por acción de la gravedad. La electrónica y el mecanismo accionador se ubican sobre una tarjeta electrónica (3) que dispone de unos agujeros (19) que son empleados para unir el dispositivo a la estructura. El sensor de detección de presencia (2) es empleado para verificar la correcta extracción del artículo, para detectar la ausencia de productos anunciando la necesidad de reposición mediante un led frontal (4) y para detectar posibles averías en caso de que no se dispense el producto. El led frontal (4) puede ser empleado para mostrar averías del dispensador o falta de productos en el carril y también para funciones de estética cuando su encendido se combina con diodos led ubicados en otros dispensadores. Todas las funciones de control son realizadas por la electrónica integrada (20) en el dispensador y dos conectores (5) situados a ambos lados de la tarjeta electrónica (3) son utilizados para realizar la interconexión del bus de alimentación y comunicaciones entre los dispensadores en las baldas.

60

En la figura 3 se muestra la instalación de diversos dispositivos dispensadores en una balda inclinada (8). Los productos (10) de distinto tipo se colocan en diversos carriles utilizando separadores (6) entre ellos. La posición de los separadores (6) y de los elementos dispensadores puede ser ajustada fácilmente a las particularidades de tamaño de cada producto, gracias al empleo de estructuras metálicas formadas básicamente por unos perfiles ranurados (7) sobre los que se ajusta la posición de los elementos. Existe la posibilidad de que un mismo tipo de artículo se ubique en más de un canal. En este caso, los distintos elementos dispensadores encargados de manipular este producto, se coordinan entre sí mediante un bus de comunicaciones (9) para completar el pedido solicitado. Los dispositivos dispensadores se encuentran intercomunicados mediante un bus (9) a través del cual se transmiten las comunicaciones de control y

65

## ES 2 328 656 B1

las señales de alimentación para la electrónica, los sensores y los disparadores electromagnéticos. En la figura 4 se muestra una vista en perspectiva frontal de una balda inclinada (8) con diversos elementos dispensadores instalados e intercomunicados mediante el bus (9) de alimentación y comunicaciones.

5 En la figura 5 se muestra de perfil el elemento dispensador y un diodo led (13) para la reposición de los productos. Los detalles de la instalación del dispensador (detalle VII) y del led (13) de ayuda a la reposición (detalle VIII) se muestran ampliadas en las figuras 7 y 8. En la figura 6 se muestra una vista en planta de los dispensadores, los leds de recarga (13) y diversos tipos de productos (10) ubicados en una balda (8). De los productos (10), los identificados con las referencias A y B en esta figura se encuentran en reposo haciendo tope con el elemento dispensador y el primer  
10 producto C está siendo dispensado tras una activación del solenoide (1) consecuencia de la recepción de un pedido del producto C desde el ordenador principal. El producto C delantero ha sido levantado por la acción del solenoide (1) que ha impulsado el vástago (12) y ha superado el tope (11) para proceder a su caída hasta una cinta transportadora que lo traslada al punto de recogida.

15 En la figura 7 (detalle VII) se muestra el modo de instalación de los elementos dispensadores en las baldas inclinadas (8). Los dispensadores se colocan en la estructura ranurada de soporte (7) que es unida a la balda (8) con escuadras (15). Cada elemento dispensador puede ajustarse en la estructura ranurada empleando tornillos deslizantes (17) que son introducidos por los agujeros de la tarjeta electrónica del dispensador (19). Una estructura ranurada análoga a la señalada con la referencia (7) también se utiliza para fijar la posición del elemento separador (6) entre productos (10)  
20 en la zona final de la balda (8). Gracias a la estructura ranurada (7) independiente de la balda (8) y que contiene los elementos dispensadores interconectados, el proceso de instalación de los elementos encargados de la automatización del proceso de extracción de los productos puede realizarse con posterioridad al montaje de los armarios y las baldas o estanterías en la instalación.

25 En la figura 8 (detalle VIII) se aprecia la instalación del diodo led trasero (13) del carril utilizado para la facilitar la reposición de los productos, y también la indicación de carril sin producto o una avería. Los leds traseros (13) son montados en una estructura (14) que, al igual que la estructura (7) se constituye por un perfil ranurado y que se instala en la balda (8) mediante escuadras (16). Los tornillos deslizantes (18) se emplean para el ajuste del led en la estructura ranurada hasta ubicarlo en la posición de cada carril de producto. La pieza metálica plana (23) es utilizada para colocar  
30 etiquetas magnéticas que permitan mostrar el nombre y características de cada producto.

Para realizar la reposición de los productos, el operario toma el producto (10) a reponer y utiliza un lector (26) de código de barras que identifica el producto (10) y envía el código a la electrónica de control de leds (21) ubicada en cada balda. Esta electrónica de control de leds (21) determina el diodo led (13) que debe ser encendido en modo  
35 parpadeo para indicar al operario el carril correspondiente a dicho producto (10) que se desea reponer.

En caso de que el diodo led (13) del carril se encuentre encendido de forma permanente mostrando un aviso de falta total de productos en el carril -evento detectado mediante el sensor de presencia (2) del dispensador- pasa a modo  
40 parpadeo cuando el lector de código de barras indica una operación de reposición en ese carril.

En algunas instalaciones en las que la reposición de los productos no pueda ser realizada por la zona trasera de la balda (8) debido a que la estructura del armario con las baldas inclinadas (8) se realiza contra una pared, el proceso de reposición puede ser realizado desde la zona de dispensación de productos, es decir, desde la posición en la que se encuentra el elemento dispensador. En estas instalaciones, el diodo led (4) del elemento dispensador parpadea cada  
45 vez que el lector de código de barras determina que una ubicación en la que se debe colocar un producto coincide con la de dicho elemento dispensador.

El proceso de dispensación de un producto se puede apreciar en la figura 9. La electrónica de control (20) individual del dispensador recibe un pedido del ordenador central de la instalación que en caso de contener algún producto (10) a  
50 dispensar ubicado en su carril provoca la activación del solenoide (1) que crea un campo electromagnético que produce la atracción del vástago (12). La salida del vástago por un extremo del cuerpo del solenoide, provoca la elevación en altura del producto (10) identificado como (A1) por encima del tope (11), de forma que este producto (A1) es liberado y comienza la caída hacia la cinta transportadora pasando por las rampas de frenado. El siguiente producto (10) del carril, identificado en la figura 9 como A2 se mueve por acción de la gravedad hasta ocupar el puesto dejado por el  
55 primer producto (A1) dispensado. Antes de que el nuevo producto haya ocupado el espacio del producto que ha sido dispensado, el vástago ha retornado a su posición de reposo gracias a la acción del muelle (24).

La figura 10 muestra un esquema de un proceso de automatización con el sistema objeto de la invención formado por varios armarios (36) provistos de baldas inclinadas en los que se colocan los elementos de dispensación y los  
60 indicadores luminosos para la reposición. Los productos dispensados desde cada armario (36) con baldas inclinadas (8) caen a una cinta transportadora (27) que los va llevando hasta el punto de recogida de los productos (35). Las órdenes de dispensación pueden ser realizadas desde el ordenador de la instalación (31) que es manejado por el operario de la instalación o también desde un punto de acceso remoto gobernado mediante pantalla táctil (33). Gracias al sistema complementario de pantalla táctil (33) y a un conjunto de medios de pago como monedero, billettero o lector de tarjetas de crédito (34), es posible que los clientes de los comercios puedan acceder directamente a cierto tipo de  
65 productos previo pago de los artículos y sin necesidad de la intervención del operario de la instalación.

## ES 2 328 656 B1

Para realizar la reposición de los productos en las ubicaciones concretas de las baldas inclinadas, se dispone de un lector de código de barras (26) situado al lado de cada estructura de estanterías o baldas (8), que es utilizado por los operarios para identificar el producto (10) que se desea reponer. El lector de código de barras (26) envía un dato con el código del producto (10) ya identificado a la electrónica de control de leds (21) situada en cada balda (8) que tras interpretar el dato se encarga de activar el diodo led trasero (13) que debe ser iluminado en modo parpadeo, mostrando al operario el carril del tipo de producto en el que se debe introducir el producto (10) a reponer.

La electrónica de control de leds (21) se conecta a los leds traseros (13) mediante un bus de datos (22), ver figura 8. Cada armario con baldas (8) dispone de una unidad de armario (30) en la que se realiza la conexión de los buses de datos utilizados para la interconexión de los elementos dispensadores e indicadores luminosos de las diversas baldas, así como la instalación de las fuentes de alimentación del sistema.

Una pantalla TFT (32) situada en la zona superior de cada armario (36) sirve para mostrar el estado de funcionamiento de la instalación y también para mostrar información comercial, en aquellas instalaciones en las que los armarios robóticos (36) se coloquen cara al público.

La figura 11 muestra una vista de perfil de una instalación con dos armarios (36) de baldas inclinadas (8) colocados uno enfrente del otro, de forma que todos los productos (10) extraídos con los elementos de dispensación caen a una misma cinta transportadora (27), encargada de llevar los productos (10) al punto de recogida. Se aprecian los buses de comunicaciones (28 y 29) encargados de comunicar las señales de control y alimentaciones entre los dispensadores y leds luminosos ubicados en los distintos niveles de baldas. Las rampas de frenado (25) se utilizan para frenar la caída de los productos desde las ubicaciones más elevadas hasta la cinta transportadora. También cabe señalar que los productos de mayor volumen y peso de la instalación se ubican en las baldas con menor altura y por lo tanto, más próximas a la cinta transportadora (27), y son baldas que pueden requerir una inclinación menor debido al mayor empuje realizado por el peso de los productos (10).

30

35

40

45

50

55

60

65

# ES 2 328 656 B1

## REIVINDICACIONES

1. Instalación para la dispensación automática y reposición semiautomática de productos comerciales, del tipo de productos de los que se presentan en cajas paralelepípedicas, tales como ciertos productos farmacéuticos, electrónicos o alimenticios; comprendiendo la instalación, al menos, una balda inclinada (8), sobre la que se ubican los productos (10) a dispensar, separados en carriles por unas guías (6) ajustables y apoyados uno detrás de otro, al deslizarse por la balda (8) con un tope (11) para el frenado de los productos (10) en la balda inclinada (8); existiendo, al menos, un indicador luminoso (13) por cada carril, ubicado en la zona trasera de la balda (8), relacionado con, al menos, un lector (26) del código de barras que va dispuesto sobre cada producto (10); **caracterizada** porque en cada carril va dispuesto un elemento dispensador individual; yendo dotado cada elemento dispensador de una electrónica de control autónoma (20), un sensor de detección de presencia (2), y un dispositivo actuador (1), preferentemente de tipo electromagnético; todo ello de manera que la electrónica de control (20) puede generar la activación del dispositivo actuador (1) electromagnético, que eleva el correspondiente producto (10) a dispensar por encima del tope (11), provocando su salida del carril y el posicionamiento, por gravedad, de un nuevo producto sobre el dispositivo actuador (1).

2. Instalación para la dispensación automática y reposición semiautomática de productos comerciales, en todo de acuerdo con la anterior reivindicación, **caracterizada** porque el elemento dispensador individual de cada carril incorpora un indicador luminoso frontal (4), y unos conectores (5) para su interconexión con otros elementos dispensadores.

3. Instalación para la dispensación automática y reposición semiautomática de productos comerciales, en todo de acuerdo con la primera reivindicación, **caracterizada** porque incorpora, al menos, un ordenador central (31) y/o un punto de acceso remoto, gobernado, preferentemente, mediante una pantalla táctil (33), con un módulo de pago (34); de manera que el proceso de dispensación automática puede iniciarse desde el ordenador (31) manejado por el operario u operarios encargados de la instalación, o por clientes de la instalación a la que acceden a través del punto de acceso remoto (33), previo pago del importe requerido a través del módulo (34).

4. Instalación para la dispensación automática y reposición semiautomática de productos comerciales, en todo de acuerdo con la primera reivindicación, **caracterizada** porque la electrónica de control autónoma (20) de cada elemento dispensador permite procesar simultáneamente la solicitud completa de dispensación de una serie de diferentes productos (10) de un pedido, mediante la orden suministrada por la electrónica de control autónoma (20) de cada uno de los diferentes elementos dispensadores de los distintos productos (10) a dispensar.

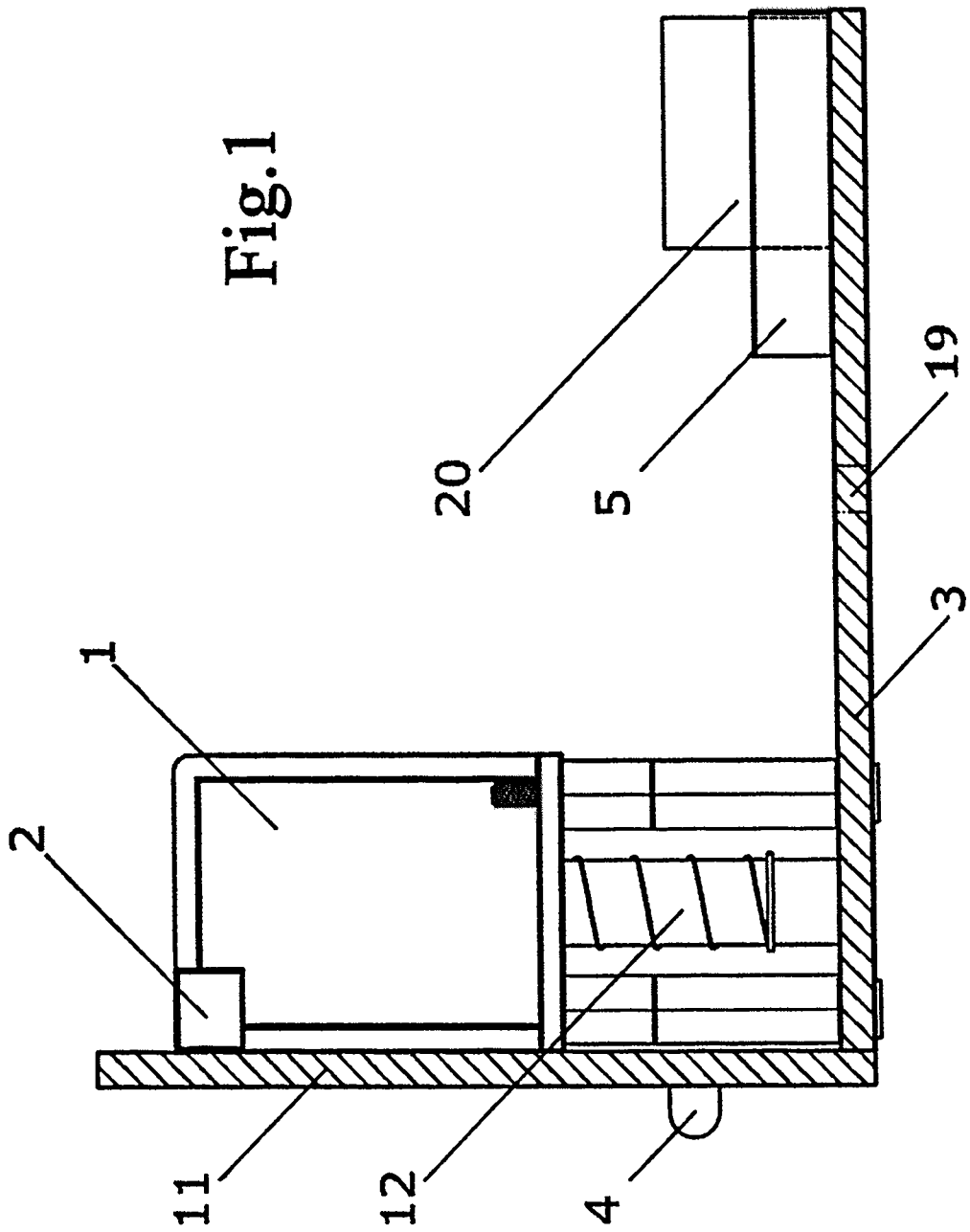
5. Instalación para la dispensación automática y reposición semiautomática de productos comerciales, en todo de acuerdo con la primera reivindicación, **caracterizada** porque tanto el elemento dispensador individual de cada carril, como las guías (6) ajustables van montadas sobre una estructura metálica ranurada (7) de soporte independiente que permite su instalación sobre la correspondiente balda inclinada (8) y el ajuste posicional, de cada elemento dispensador y de cada guía (6) a las particularidades de tamaño y de peso de los productos (10) a dispensar.

6. Instalación para la dispensación automática y reposición semiautomática de productos comerciales, en todo de acuerdo con la primera reivindicación, **caracterizada** porque los indicadores luminosos traseros (13) van montados sobre una estructura metálica ranurada (14) de soporte independiente que permite su instalación sobre la correspondiente balda inclinada (8) y el ajuste posicional de cada indicador luminoso trasero (13) y de cada guía (6) a las particularidades de tamaño y de peso de los productos (10) a dispensar.

7. Instalación para la dispensación automática y reposición semiautomática de productos comerciales, en todo de acuerdo con la primera reivindicación, **caracterizada** porque los elementos dispensadores de las diferentes carriles determinados sobre las baldas inclinadas (8) se encuentran intercomunicados entre sí a través de un mismo bus (6) de alimentación y de datos.

8. Instalación para la dispensación automática y reposición semiautomática de productos comerciales, en todo de acuerdo con la primera reivindicación, **caracterizada** porque se ha previsto incorporar, en la zona superior de cada armario (36), formado por un conjunto de baldas inclinadas (8), una pantalla (32) que permite mostrar información sobre el estado de funcionamiento de la instalación y otras informaciones complementarias.

9. Instalación para la dispensación automática y reposición semiautomática de productos comerciales, en todo de acuerdo con la primera y segunda reivindicaciones, **caracterizada** porque, en relación con cada conjunto de baldas inclinadas (8), se dispone el lector (26) del código de barras de los diferentes productos (10) situados en los carriles, yendo relacionado dicho lector (26) con la electrónica de control (21) de los indicadores luminosos (4 y 13); de manera que los indicadores luminosos (4 y/o 13) señalen situaciones tales como la ubicación del carril al que debe incorporarse un producto (10) a reponer, que previamente ha sido identificado con el lector del código de barras (26), la falta de productos (10) en un carril, su vaciado, fallos en el procesos de dispensación o situaciones análogas, pudiendo incluso combinar el encendido de los diferentes indicadores luminosos (4 y 13), por razones de estética.



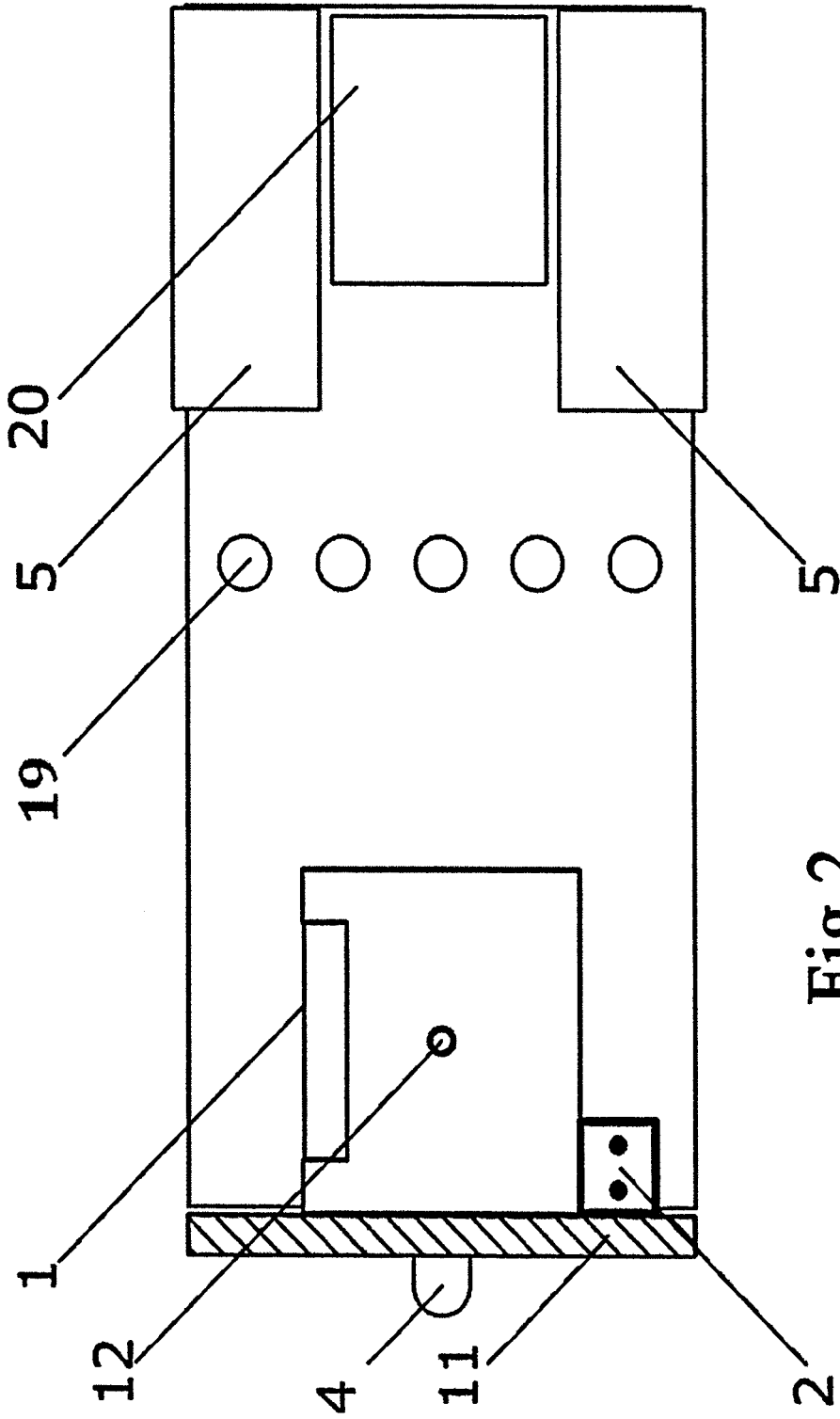
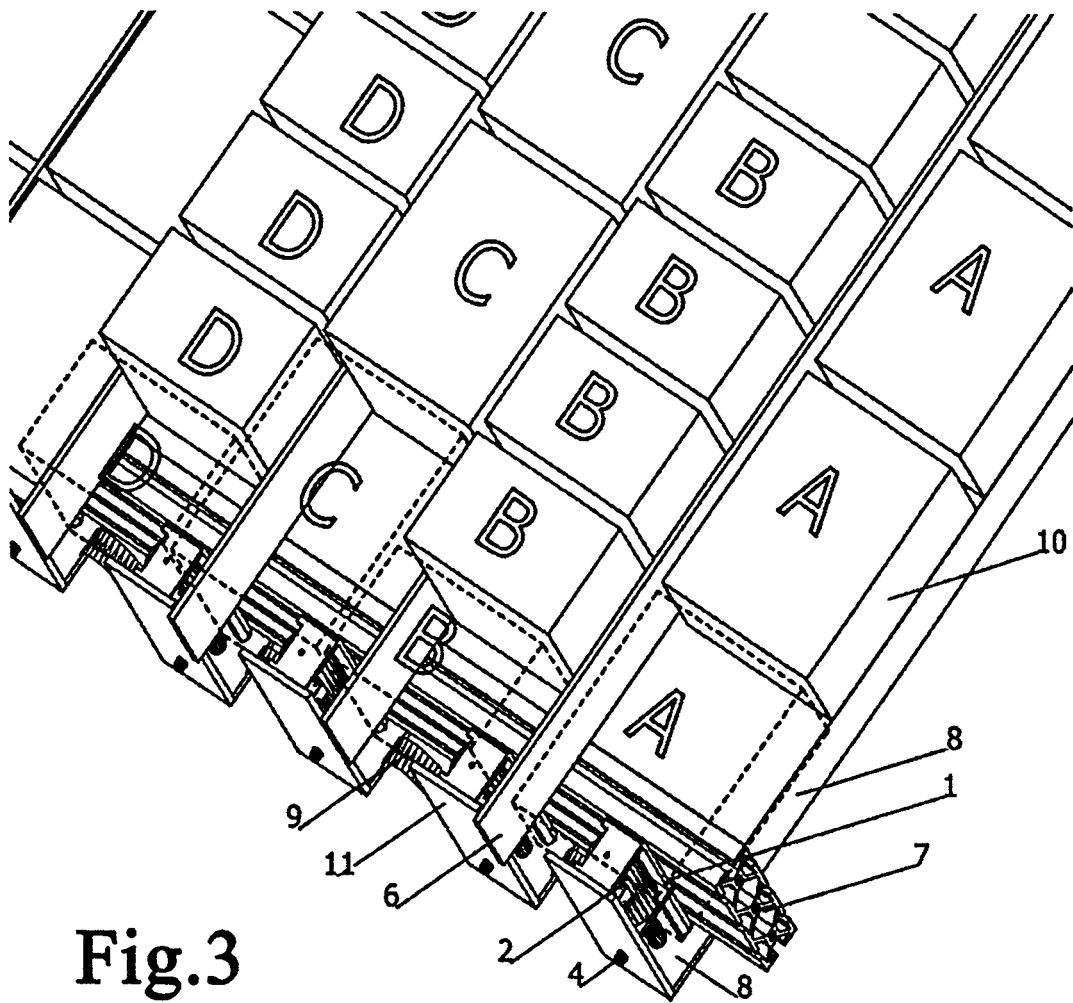
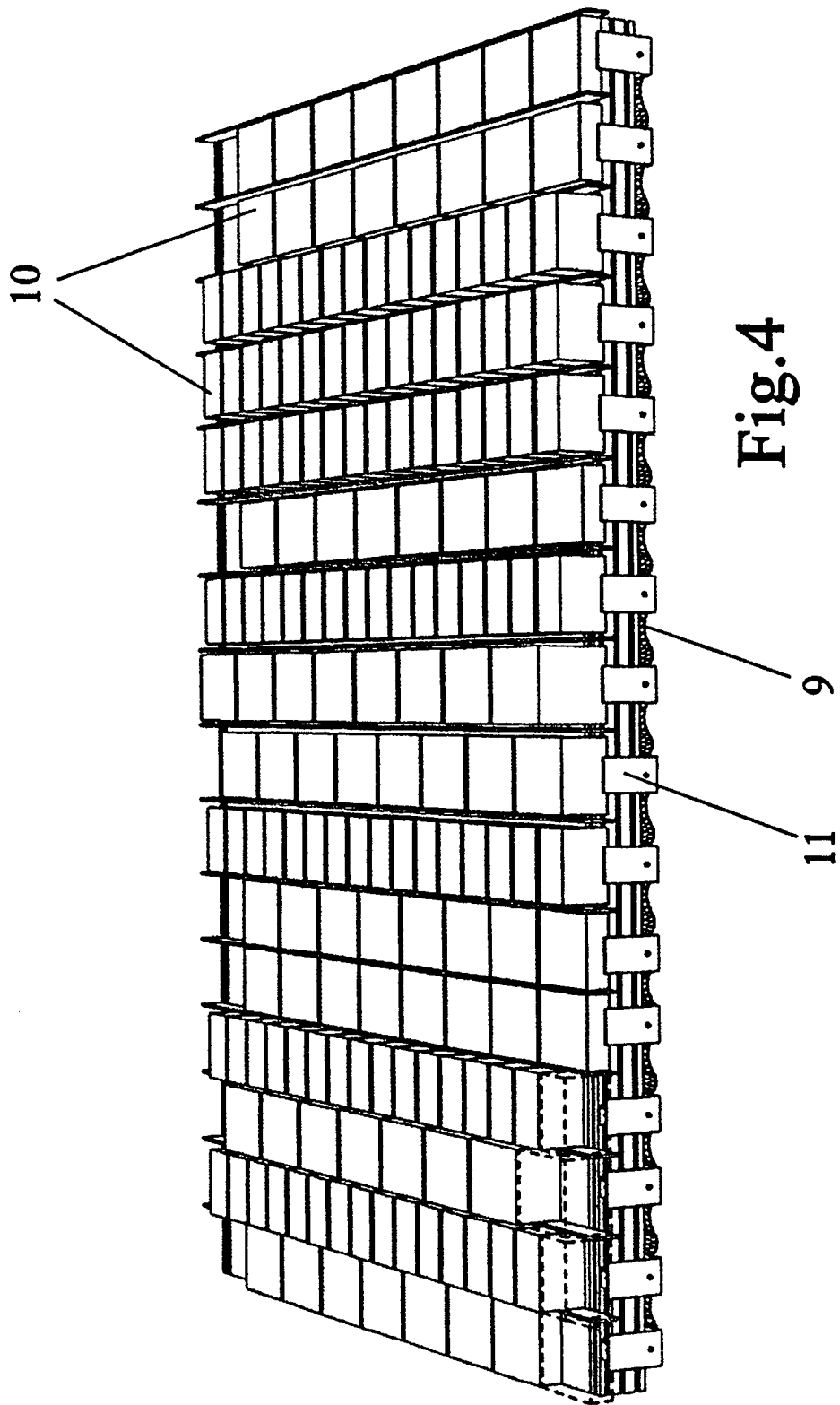


Fig.2



**Fig.3**



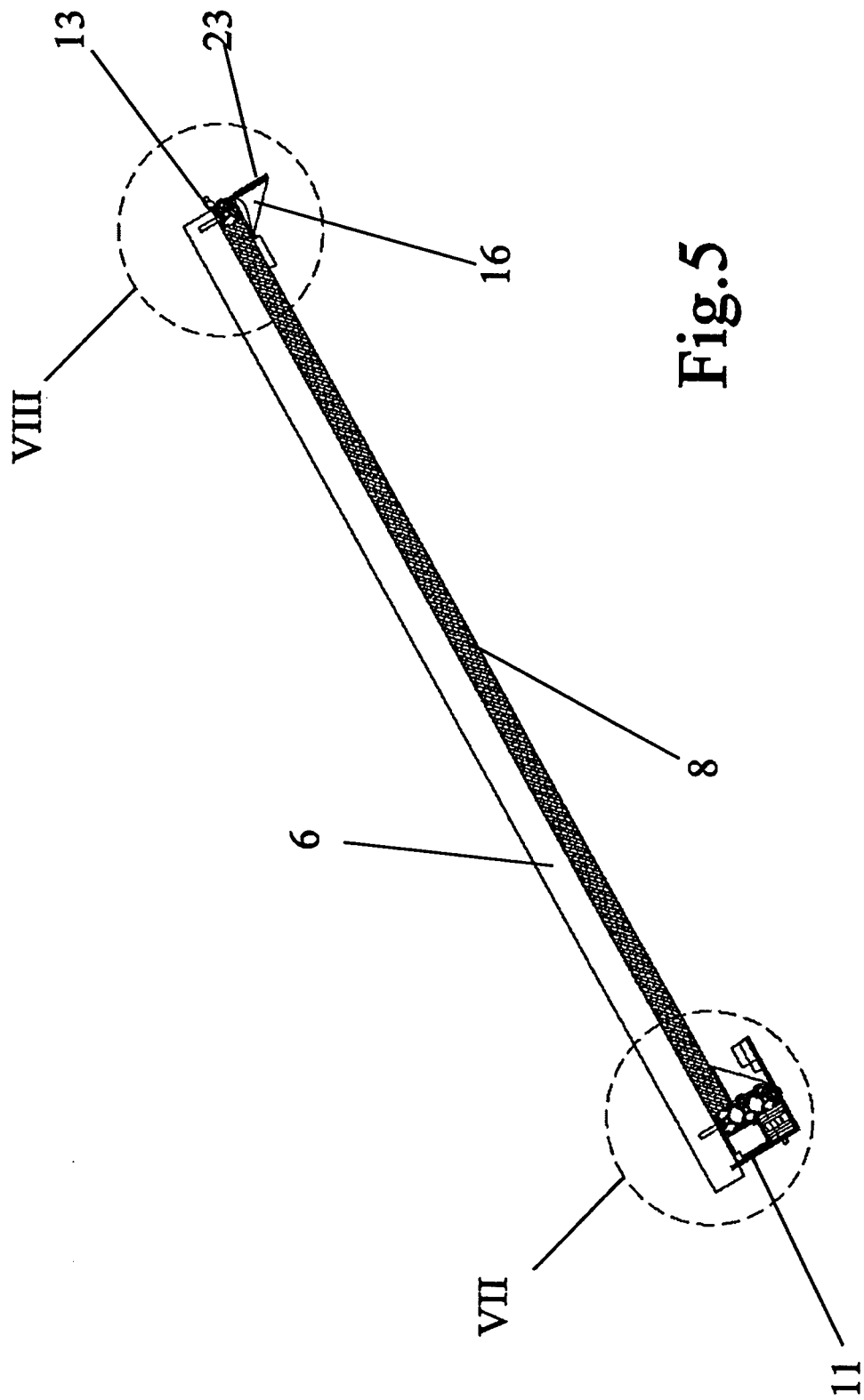


Fig.5

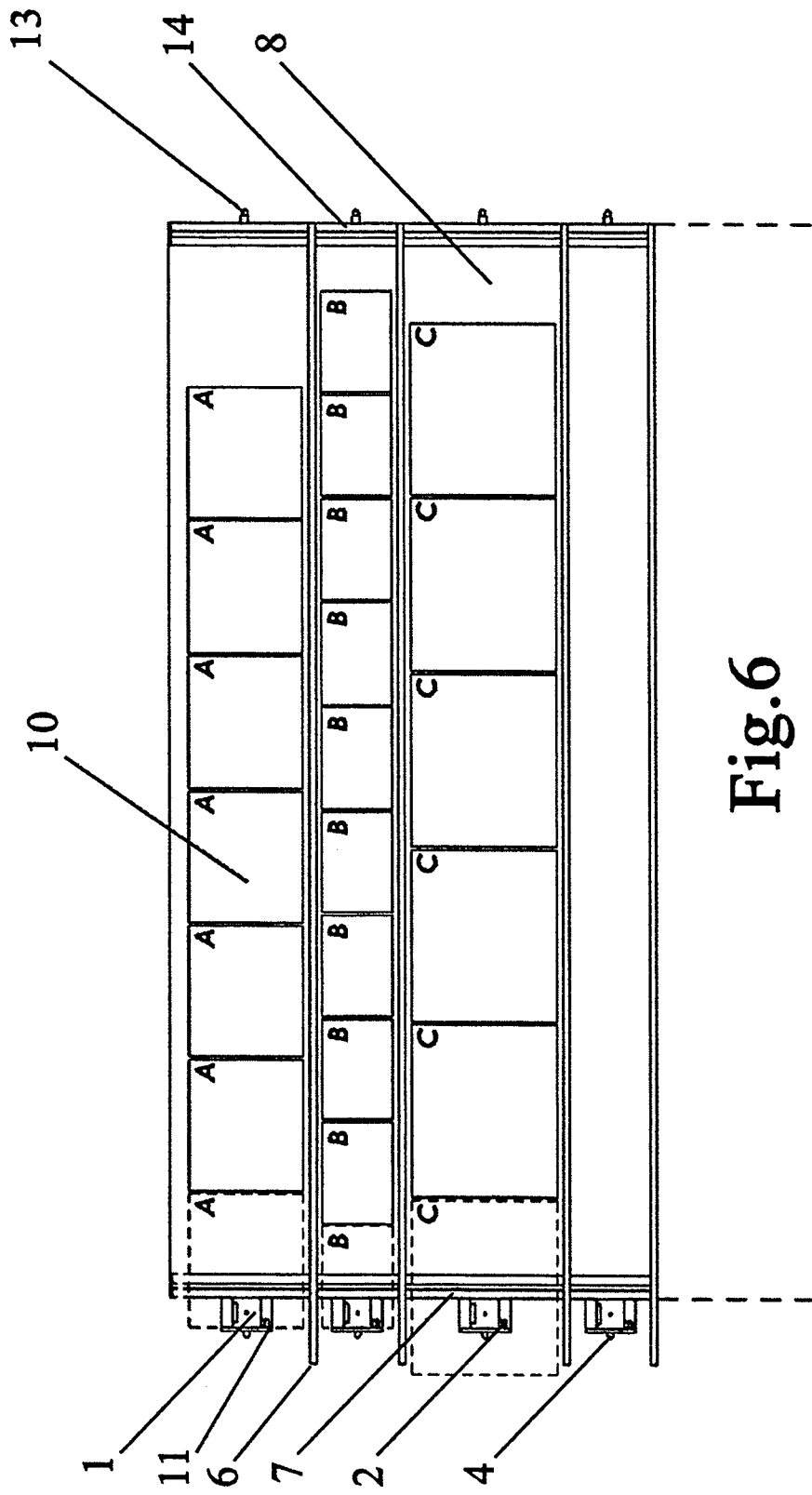
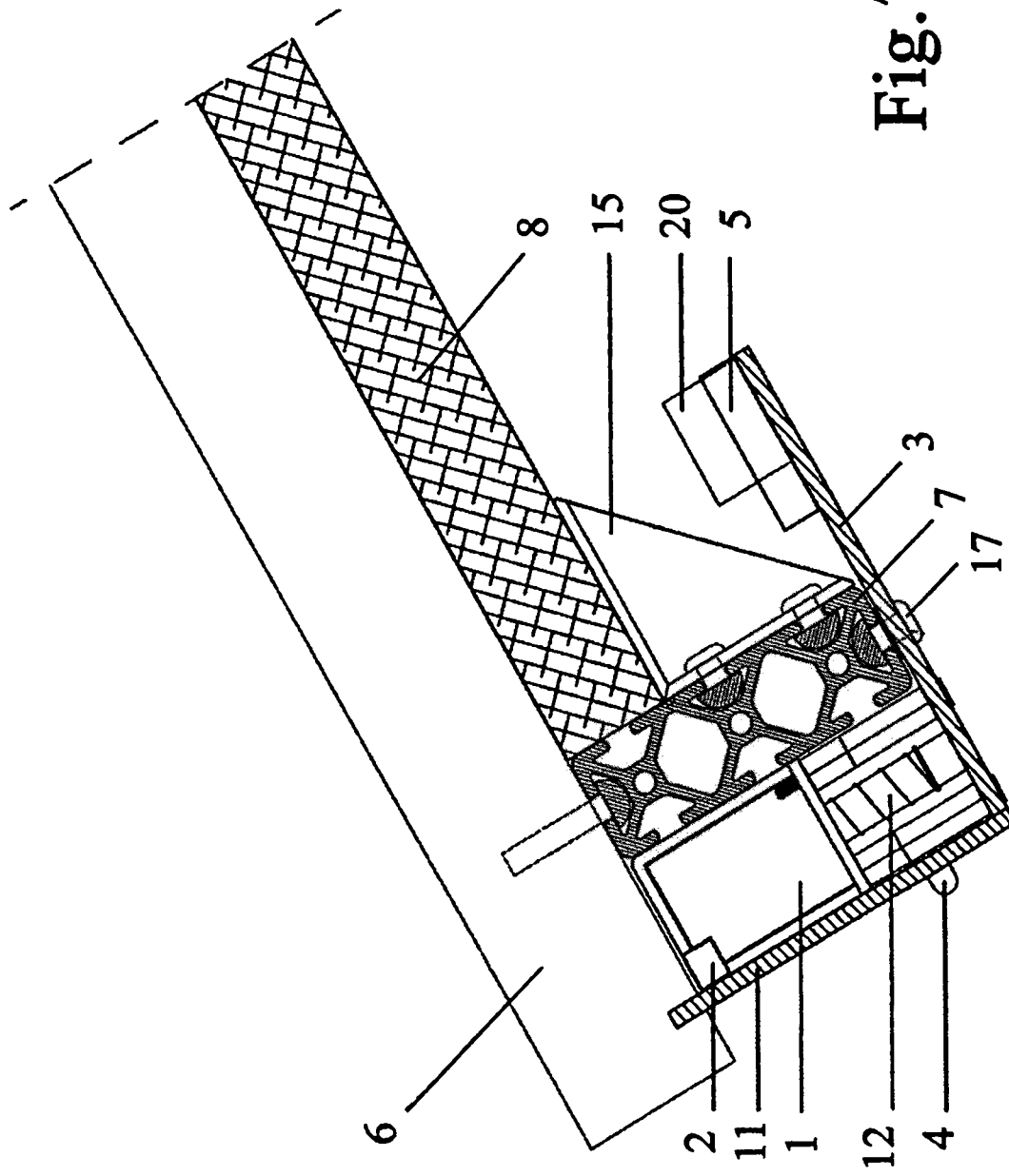
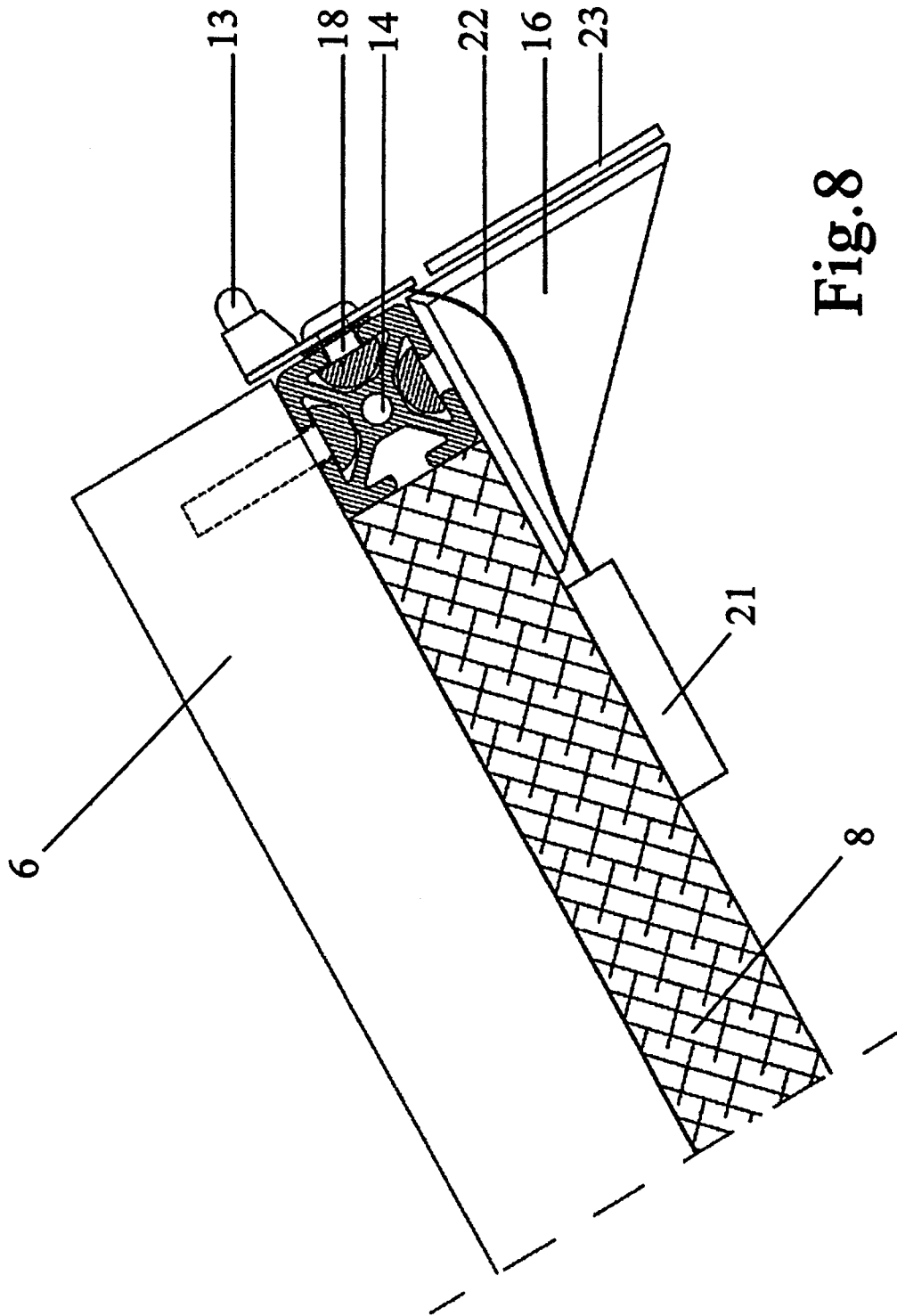


Fig.6





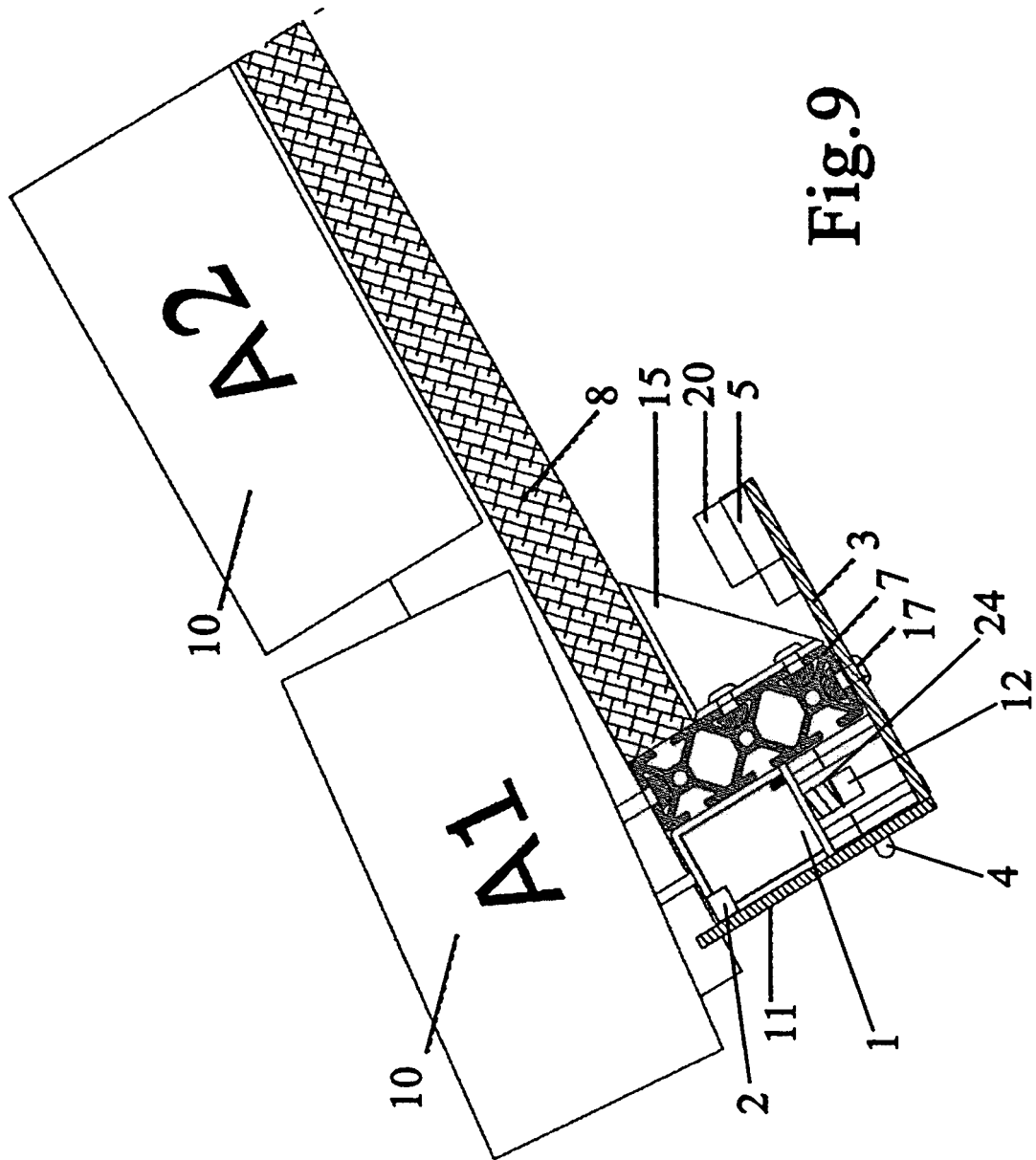


Fig.9

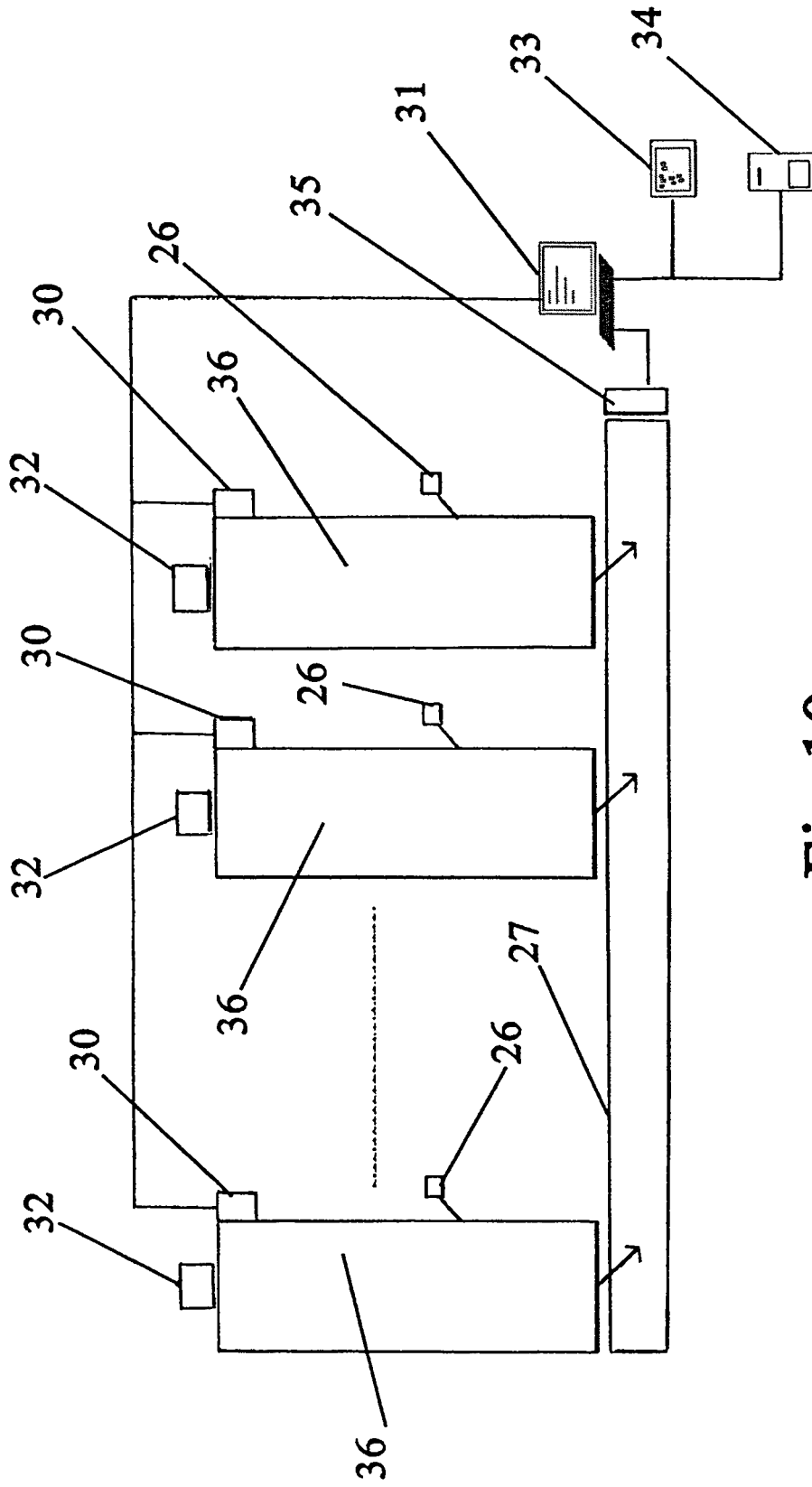


Fig.10

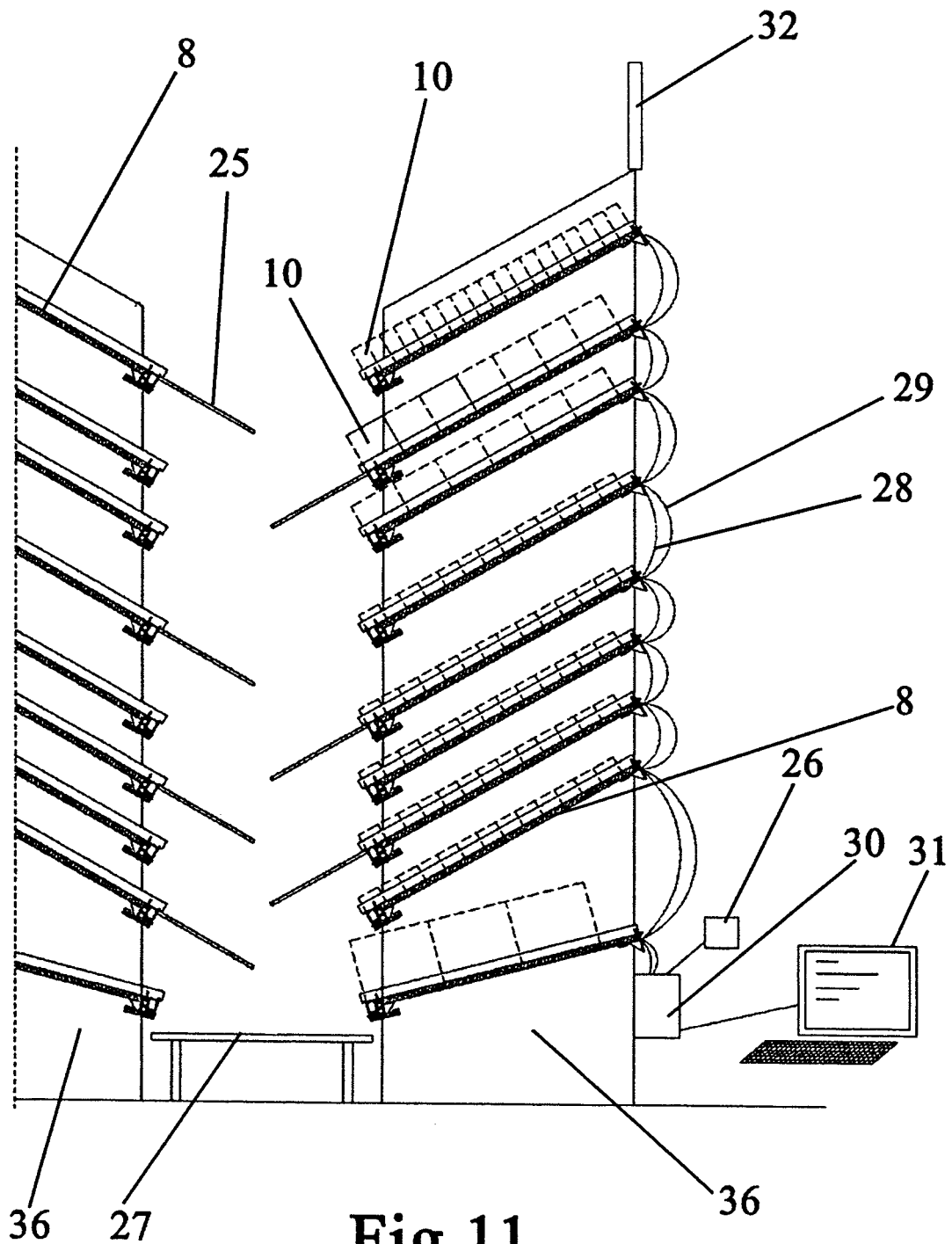


Fig.11

