

J. S. Solís-Chaves

**Introducción a la
automatización CIM
para Ingeniería Mecatrónica**

VIGILADA MINEDUCACIÓN

CERTIFICADA POR:



CO-SC 7198-1



UNIVERSIDAD · ECCI

Copyright © 2023 Juan Sebastián Solís Chaves

PUBLICADO POR EDITORIAL UNIVERSIDAD ECCI

ISBN 978-958-8817-58-3 <http://dx.doi.org/10.18180/LIBROECCI.ISBN.978-958-8817-58-3>

Autor: Juan Sebastian Solís Chaves.

Editor: Luz Adriana Suárez.

Portada: Departamento de Publicidad Universidad ECCI.

Diagramación y Fotografías: Paulina Torres P.

Corrección de Estilo: Katherine Suárez.

Revisión Final de Estilo: Juan Sebastian Solís Chaves.

Editorial Universidad ECCI: www.ecci.edu.co/es/Bogota/publicaciones.

Prohibida la reproducción total o parcial por cualquier medio sin la autorización escrita del titular de los derechos patrimoniales.

Primera edición, marzo de 2023.

A mis Padres

«El homo sapiens tiende al reconocimiento de pautas. Que es a la vez un don y una trampa»

— William Gibson, Pattern Recognition.



Índice general

I	Presentación	
1	Prefacio	13
2	Prólogo	15
II	Introducción	
3	Introducción a la Automatización CIM	19
3.1	Historia de la Automatización	19
3.1.1	Los Primeros Automatas	19
3.2	Manufactura, Cadena de Montaje y Automatización	20
3.3	Automatización Industrial Enfocada a la Manufactura	21
3.3.1	Manufactura Integrada por Computadora	22
3.4	Ramas de la Automatización CIM	23
3.4.1	Neumática	23
3.4.2	Electroneumática	24
3.4.3	Automatización CIM por medio de PLC	25
3.5	Software para Automatización CIM	27
3.5.1	FluidSim	27
3.5.2	I/O Factory	34
3.5.3	LOGO!Soft Comfort	37

III

Automatización CIM usando Neumática

4	Automatización Neumática	47
4.1	Orígenes de la Neumática	47
4.2	La Neumática como Rama de la Automatización CIM	48
4.3	Ventajas y Limitaciones de la Automatización Neumática	49
4.3.1	Ventajas	49
4.3.2	Limitaciones	49
4.4	Los Autómatas Neumáticos Industriales	49
4.4.1	Circuitos Neumáticos	49
4.5	Clasificación de las Válvulas Neumáticas	52
4.5.1	Válvulas Distribuidoras	52
4.5.2	Válvulas de Bloqueo	55
4.5.3	Válvulas de Presión	57
4.5.4	Válvulas de Caudal o de Flujo.	58
4.6	Simulación de Autómatas Neumáticos por Medio de FluidSim	59
4.6.1	El Menú de Elementos Neumáticos de FluidSim	60
4.7	Ejemplos de Aplicación Industrial de la Neumática con FluidSim	63
4.7.1	Empacadora Neumática	64
4.7.2	Fresadora Neumática	67

IV

Automatización CIM usando Electroneumática

5	Automatización Electroneumática	73
5.1	¿Qué es la Electroneumática?	73
5.2	Ventajas y Desventajas de la Electroneumática	74
5.3	Autómatas Electroneumáticos	74
5.3.1	Circuitos que Conforman un Autómata Electroneumático	75
5.3.2	Relés	76
5.3.3	Señales de Entrada	77
5.3.4	Sensores de Posición	79
5.3.5	Actuadores Eléctricos	82
5.4	Secuencias Electroneumáticas	82
5.4.1	Método Intuitivo	83
5.4.2	Método Cascada	83
5.4.3	Método Paso a Paso	86
5.5	Simulación de Autómatas Electroneumáticos con FluidSim	90
5.5.1	Alimentación de Tensión y Relés	90
5.5.2	Interruptores Pulsadores y Contactos	92
5.5.3	Simbología Ladder	93
5.5.4	Tipos de Electroválvulas y Configuración en FluidSim	93
5.6	Ejemplos de Aplicación de Electroneumática con FluidSim	94
5.6.1	Montacargas Industrial	94
5.6.2	Máquina Dobladora Industrial	98

V**Automatización CIM usando PLC**

6	El PLC en la Automatización CIM	105
6.1	Una Breve Reseña sobre los PLC	105
6.1.1	Clasificación de los PLC	106
6.2	Los PLC de la Universidad ECCI	106
6.2.1	PLC Siemens LOGO!	107
6.2.2	PLC Siemens S7-1200	108
6.3	Ejemplo de Simulación del Entorno CIM usando I/O Factory	109
6.3.1	Transportadora de Cajas Industrial	109
6.4	Ejemplo de Aplicación PLC LOGO!	114
6.4.1	Máquina de Tampografía Industrial	114

VI**Referencias e Índice**

Bibliografía	121
Libros	121
Tesis	122
Manuales y Reportes Técnicos	122
Índice Alfabético	123



Presentación

1	Prefacio	13
2	Prólogo	15



El programa de Ingeniería Mecatrónica articulado por ciclos propedéuticos con la Tecnología en Automatización y Robótica Industrial de la Universidad ECCI sede Bogotá, contempla en sus líneas de profundización la automatización de procesos, la robótica y la eficiencia energética. En cada una de éstas áreas, el enfoque pedagógico se basa en escenarios problémicos, donde a partir de necesidades en un contexto específico, se plantean soluciones, contemplando ingeniería concurrente para el diseño o la integración, utilizando diferentes perspectivas como los requerimientos de funcionalidad, de fabricación, de montaje, el recurso humano y las herramientas y tecnologías de apoyo.

Este libro recopila conceptos necesarios con el fin de plantear implementaciones en el área de automatización de procesos utilizando como medio de trabajo la neumática y la electroneumática; y como lógica de programación lenguajes específicos para autómatas, integrados con gemelos digitales, lo que permitirá al lector tener una orientación clara y organizada para proyectos de pequeña y mediana envergadura en tareas de manufactura para diferentes aplicaciones en las industrias. Esta obra también orienta al lector al conocimiento de estándares para la lectura y realización de esquemas de distribución utilizados al momento de hacer planos de lógica cableada o programada utilizando sus respectivos símbolos según las normas. Ilustraciones de los componentes físicos permiten establecer una relación directa entre la forma en que se instala, se conecta y su función según el nivel de instalación en el circuito.

La automatización de procesos en la actualidad exige que competencias digitales sean complementarias a los conocimientos tradicionales, la programación, simulación y manejo de datos es parte fundamental de los diseños. En este libro se plantean conceptos claves en la utilización y conexión con gemelos digitales, lo cual permite la validación y verificación de las soluciones propuestas.

Finalmente, quiero expresar un agradecimiento y reconocimiento especial al profesor Juan Sebastián y a los integrantes del semillero SIFE que apoyaron la realización de montajes neumáticos y electroneumáticos, elaboración de guías y procedimientos que ayudan al lector a visualizar de una manera más clara los objetivos y alcance de las prácticas.

Bogotá, DC, marzo de 2023.

Alexander Cortés Llanos, Ms.E.
Director del Programa de Ingeniería Mecatrónica.



2. Prólogo

El libro que el lector tiene ahora en sus manos, es el resultado de años de preparación de clase, de enseñanza en el aula y en los bancos de trabajo del Laboratorio de Automatización de la Universidad ECCI, así como del auto-aprendizaje de varios *software* de automatización, en el tiempo de ocio. Cuenta con el aporte imprescindible de los estudiantes del SIFE (Semillero de Investigación en Fluidos y Energía), Juan David G. y Wenderley Alexandro C., quienes transcribieron mis manuscritos y organizaron los ejercicios de simulación aquí presentados. Es también una bella labor visual de Paulina T., quien se encargó de mejorar las imágenes, crear los encabezados de los capítulos y también de tomar las fotografías claves del texto. Este librito es además, una exitosa colaboración con el personal de la Editorial ECCI, quienes realizaron el trabajo de revisión de estilo, edición de las referencias y todo lo relacionado con el proceso de publicación digital. Fue, aparte de todo lo anterior, un proceso de aprendizaje común sobre **LaTeX/OVERLEAF** que espero sirva como plantilla para otros textos académicos, tanto del Departamento de Ingeniería Mecatrónica, como de la Universidad.

«**Introducción a la Automatización CIM**», no es *sensu stricto* un texto guía. Fue pensado y diseñado para acompañar al estudiante en su proceso de aprendizaje y así reforzar lo visto en clase e implementado en las prácticas de laboratorio. Sus capítulos invitan al lector a conocer los elementos de montaje y las estrategias de control más comúnmente usadas en la automatización apoyada por computador y que se aplican diariamente en la manufactura industrial, como por ejemplo la Neumática y la Electroneumática, que son simuladas por medio de Fluidsim de Festo y la Automatización basada en PLC, que se simuló usando I/O Factory de End Games y que se implementó de forma práctica con el pequeño pero versátil LOGO! de Siemens.

Los ejemplos propuestos a lo largo de los capítulos requieren, para su implementación e interpretación, un conocimiento básico acerca de los métodos de control secuencial, los cuales son revisados con brevedad, sus correspondientes reglas son listadas y explicadas gráficamente por medio de los diagramas de movimiento y de mando. Las aplicaciones escogidas como ejemplos, pretenden demostrar que, independientemente del sector industrial que el estudiante prefiera, los métodos de control de movimiento secuencial son transversales y lo invitan a proponer, simular e

implementar diferentes autómatas, regidos por la misma secuencia o por otras parecidas, siempre y cuando se apliquen las reglas aquí enunciadas.

Una contextualización histórica sobre la Automatización CIM, una introducción a FluidSim, a I/O Factory y a LOGO!Soft se expone en el Capítulo 3. Los *software* de simulación y programación escogidos para realizar los ejercicios, son bastante utilizados y se instalan gratuitamente o por medio de una licencia académica. Posteriormente, varias explicaciones específicas necesarias para implementar los ejemplos de autómatas neumáticos, electroneumáticos, digitales y electrónicos, propuestos al final de los capítulos 4, 5 y 6, complementan este tópico. Para un mejor aprendizaje de estos lenguajes de programación, el lector interesado puede consultar los respectivos manuales en PDF y *online*, que se presentan en la Sección VI. Esto hace a «**Introducción a la Automatización CIM**» el acompañante ideal tanto para las prácticas de laboratorio como de las sesiones de prácticas libres.

Espero que al finalizar su lectura, este pequeño libro se convierta en una fuente de consulta recurrente y sea releído cada vez que el lector requiera diseñar un nuevo autómata secuencial industrial. Pretendo también, con humildad, que sea una motivación para el estudio de disciplinas posteriores y encamine a sus lectores a culminar con éxito su formación como tecnólogos e ingenieros mecatrónicos.

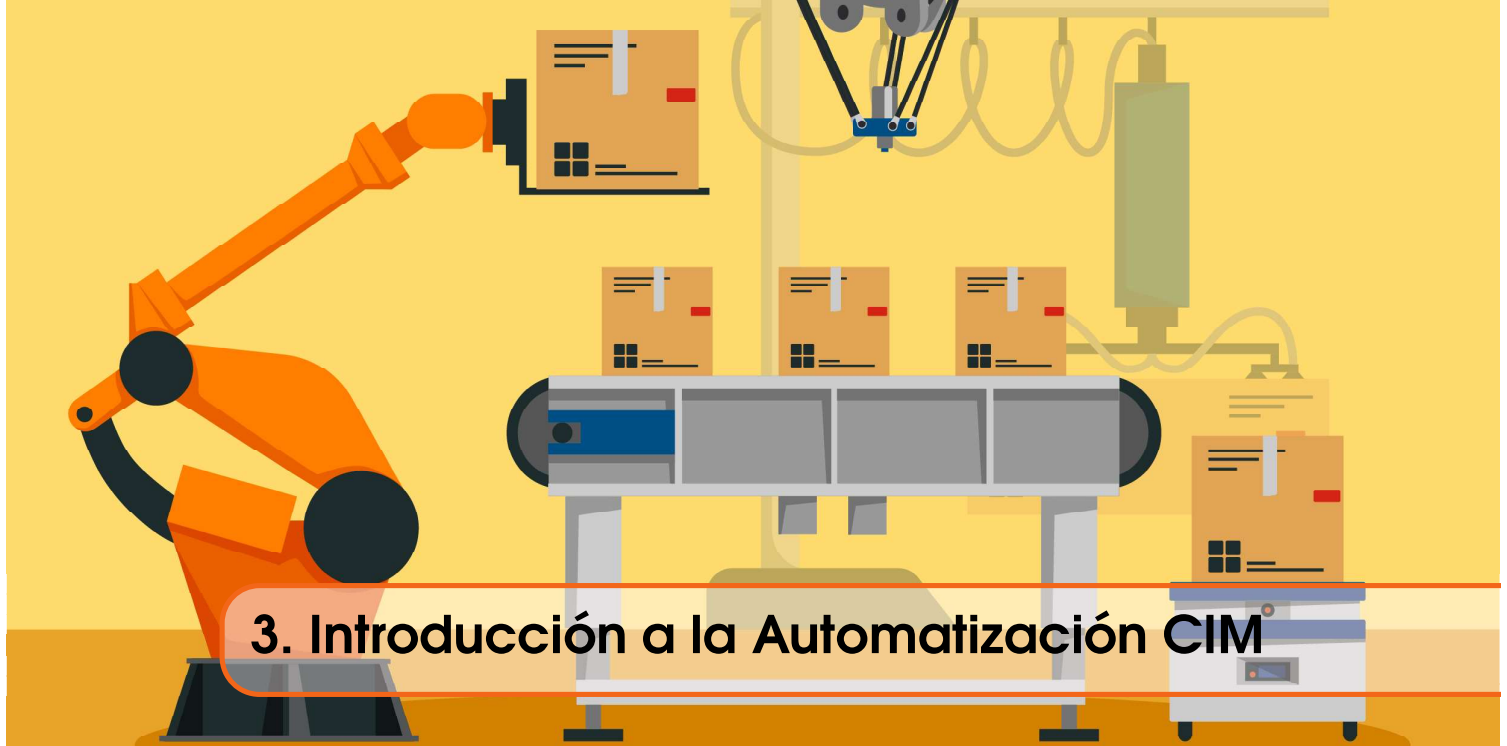
Bogotá, DC, marzo de 2023.

J. S. Solís-Chaves, Ph.D.



Introducción

- 3** **Introducción a la Automatización CIM 19**
- 3.1 Historia de la Automatización
- 3.2 Manufactura, Cadena de Montaje y Automatización
- 3.3 Automatización Industrial Enfocada a la Manufactura
- 3.4 Ramas de la Automatización CIM
- 3.5 Software para Automatización CIM



3. Introducción a la Automatización CIM

3.1 Historia de la Automatización

El ser humano ha querido desde siempre construir máquinas que imiten los movimientos del cuerpo humano. Los egipcios incluyeron a sus estatuas de dioses, brazos mecánicos para rendir tributo a cada uno de ellos, siendo estos manipulados por los sacerdotes; posteriormente los griegos construyeron estatuas que se operaban por medio de sistemas hidráulicos, causando en sus feligreses gran admiración. Incluso desde la prehistoria se mejoraron herramientas para la caza, la confección, la construcción y la agricultura. En la edad media se fortalecieron las invenciones de máquinas simples y a comienzos del siglo XIX se produjo un gran avance durante la Revolución Industrial, en la que el trabajo pesado se convirtió en una tarea más simple con invenciones como la línea de producción, las máquinas de hilar, el telar y las máquinas de vapor de Somercet y Watt.

3.1.1 Los Primeros Autómatas

A finales del Siglo XVII y comienzos del XVIII, en Europa se manufacturaron muñecos mecánicos que poseían características propias de lo que conocemos ahora como robots. A mediados del siglo XVIII Jacques de Vaucansos, se dió a la tarea de construir muñecos del tamaño de un ser humano que pudieran desempeñarse como músicos. Para el siglo XIX, En 1805, un importante mecánico suizo llamado Henri Maillart¹ (ver Figura 3.1), construyó un autómata que era activado por medio de resortes, el cuál tenía la capacidad de dibujar imágenes, además de escribir versos en francés e inglés. Los inventos nombrados anteriormente siguen siendo considerados aún hoy en día como inventos destacados para su época.

Los movimientos producidos por la mano, se obtenían gracias a un conjunto de levas que se encontraban sujetas a un eje. Éste, a su vez, formaba parte de la base del autómata que dibujaba imágenes y escribía versos. Los ejes de la base del autómata creaban el movimiento necesario para completar siete bocetos y un texto. Se cree que este autómata tiene la mayor memoria basada en levas de todos los autómatas de su era.

¹<https://henrimaillart.com/world-of-henri-maillart/>

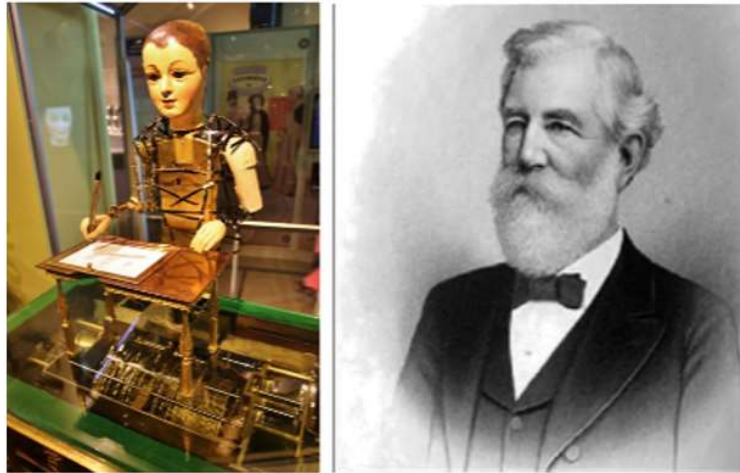


Figura 3.1: Autómata Mecánico Diseñado por el Ingeniero Henri Maillardet.

3.2 Manufactura, Cadena de Montaje y Automatización

La manufactura automatizada de productos industriales, surge de la estrecha relación entre la economía y la innovación basada en la ingeniería. Este tipo de desarrollo del Siglo XVIII llegó a sobrepasar los desarrollos de épocas precedentes, siendo los aportes más significativos los siguientes:

- La división del trabajo.
- La transferencia de energía.
- La mecanización de las fábricas.
- El desarrollo de máquinas de transferencia de potencia y movimiento.
- Los sistemas de alimentación.
- La sustitución de energía humana por energías basadas en combustibles fósiles y energías renovables.

La división del trabajo consiste en la reducción del proceso de manufactura, generando a su vez subestaciones secundarias, siendo destinadas no sólo a zonas, sino a operarios con actividades específicas. Este tema fue estudiado por primera vez por el economista Adam Smith², quien enfatiza la relación entre los recursos naturales y el origen de las riquezas de las naciones. Es importante resaltar que la división del trabajo incrementó la producción y redujo el nivel de capacitación requerido en cada uno de los obreros. Posteriormente, la mecanización (que fue la siguiente etapa en la industrialización del mundo) hizo necesario desarrollar aún más la automatización. La relativa disminución de la cantidad de trabajo individual, es llevada a cabo por la división del mismo, lo cual permitió la construcción y el diseño de máquinas que reemplazaran los movimientos repetitivos de trabajadores, conforme a como la tecnología evolucionaba, las máquinas fueron aumentando su complejidad y su productividad. Posteriormente, con el desarrollo de los sistemas de potencia eléctrica a nivel mundial, se dió lugar a un nuevo sistema industrial de producción, esto debido a que cada uno de los trabajadores y máquinas ya no debían situarse junto a una fuente de energía.

La máquina de transferencia de energía (en este texto llamado Autómata Secuencial), es aquel dispositivo que es utilizado para mover objetos a través de diferentes zonas, en las que se les

²https://es.wikipedia.org/wiki/Divisi%C3%B3n_del_trabajo#Seg%C3%BAn_Adam_Smith

somete a una serie de procesos de manufactura, con el fin de obtener un producto final. Los robots industriales fueron diseñados en primera instancia para llevar a cabo tareas relativamente sencillas, en zonas en donde los trabajadores estuvieran usualmente sometidos a algún tipo de riesgo. Sin embargo, actualmente estos están en la capacidad de trasladar, manipular y ubicar piezas en cualquier ambiente e industria [14].

En el año 1920 la industria que se concentraba en gran parte en la fabricación de automóviles, realizó un cambio en lo que se refiere al sistema de producción, integrando un nuevo concepto, el cual consistía en la implementación de líneas de producción en las que se llevaba a cabo una actividad de carácter repetitivo. Claro está que cada una de éstas tenían como objetivo realizar algún tipo de actividad específica y diferente a las de las demás. Sin embargo, cada una de ellas era de vital importancia para obtener el producto final. Uno de los pioneros en la fabricación en serie y por medio de líneas de producción fue Henry Ford³ con su famoso modelo T. Esta se presenta en la Figura 3.2:

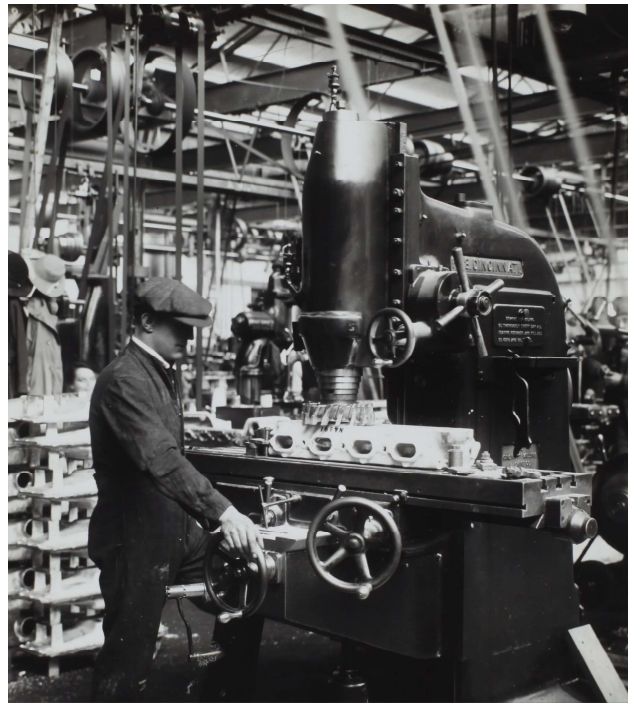


Figura 3.2: La Línea de Producción de Comienzos del Siglo XX.

3.3 Automatización Industrial Enfocada a la Manufactura

Actualmente, las industrias se encuentran automatizadas en menor o mayor medida, algunas de ellas cuentan con más procesos automatizados que otras. En el sector de las telecomunicaciones y la aviación, se han implementado nuevos dispositivos automáticos como equipos de conmutación telefónica inalámbrica y satelital. En el caso del sector de la aviación, los sistemas automatizados de guía y control se han implementado con éxito global. Para cada sector industrial en específico, la rapidez de respuesta ha aumentado notablemente, a una velocidad tal que para un ser humano

³<https://www.motorpasion.com/industria/100-anos-de-ford-en-cadena-o-cuando-ford-reinvento-la-industria>

sería físicamente imposible competir [7]. Un ejemplo de una industria totalmente automatizada se puede apreciar en la Figura 3.3.



Figura 3.3: La Automatización Industrial Asistida por Computador (CIM) en el Siglo XXI.

La automatización asistida por computador se fundamenta en la implementación de sistemas de control y de tecnología informática, con el objetivo de reducir la intervención humana en un proceso de manufactura (ver Figura 3.3). Al implementar procesos de automatización se reduce notablemente el esfuerzo mental y físico de un trabajador. Ejemplo de ello es el uso de brazos robots para la realización de tareas de soldadura o transporte de piezas, aumentando a su vez la producción y eficiencia de la línea [14].

Las principales ventajas de automatizar un proceso son:

- La disminución del riesgo al cual se encuentran sometidos los trabajadores por tareas repetitivas o del alto riesgo.
- Incremento de la calidad de la manufactura debido a que se requieren cualidades que se encuentran fuera del alcance humano.
- Aumento de la producción al mantener una línea productiva, ya que el agotamiento y los riesgos por desgaste por periodos de tiempo prolongados de un trabajador son evitados.

Como aparente desventaja, podría decirse que para llevar a cabo la automatización de un nuevo proceso, se hace necesario una inversión inicial considerable, pero conforme avanza el tiempo y las líneas de producción no presentan problemas, dicha inversión será recuperada con creces, generando ingresos mayores a los percibidos antes de la automatización.

3.3.1 Manufactura Integrada por Computadora

En la Figura 3.4, se muestra la Pirámide CIM (Computer Integrated to Manufacture), esta es una representación gráfica en la que se muestra el proceso entero de producción cuando es controlado por computadores y se tiene en cuenta las comunicaciones industriales en sus diferentes niveles.

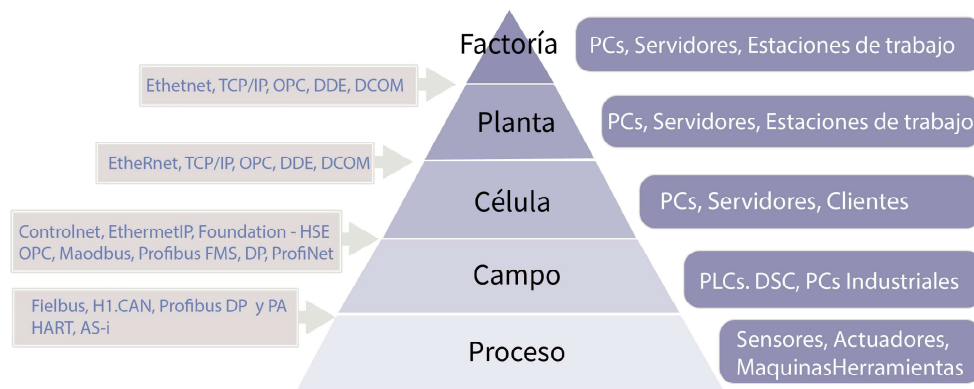


Figura 3.4: Pirámide de la Automatización CIM.

Típicamente esta automatización CIM, depende de procesos de control de lazo cerrado, basados en entradas en tiempo real desde sensores y transductores, permitiendo aplicaciones transversales en muchas áreas industriales, utilizando para ello varias técnicas de automatización, por ejemplo, la Neumática, la Electroneumática y la Electrónica (es decir usando PLC), las que son tratadas en este libro.

Existen algunos beneficios al implementar la pirámide CIM, por ejemplo:

- Incremento en la productividad al reducirse los tiempos de inventarios en el proceso y en la cantidad de stock de piezas, ya que se obtienen siempre datos precisos.
- Flexibilidad para responder con mayor rapidez en la introducción o modificación de productos, por volumen o composición.
- Mejoría en la toma de decisiones sobre factores de producción, al tener una inspección automática se tiene el control sobre la información de los procesos.

3.4 Ramas de la Automatización CIM

La Automatización no se limita actualmente a su versión industrial, existen otros tipos de automatizaciones que se extienden a diversos sectores comerciales y residenciales como la Domótica y la Inmótica, que lastimosamente se encuentran fuera del alcance de este libro. En el caso de la Automatización CIM, además de los Robots Industriales, se pueden utilizar Automatas Neumáticos, Electroneumáticos (basados en procesadores eléctricos con lógica cableada) y Electrónicos (basados en procesadores electrónicos tipo PLC). Al tratarse entonces de un texto sobre Automatización Industrial, son estos tres tipos los que se eligen explicar y aplicar a varios procesos industriales que contienen movimientos secuenciales repetitivos.

3.4.1 Neumática

La Neumática aparece por primera vez en la antigua Grecia, lugar en el que el vocablo *pneuma* significaba *soplo*, *influjo*, ó *aliento*. En física, la palabra Neumática se usa para describir las propiedades de los gases desde el punto de vista de su movimiento. Las primeras aplicaciones neumáticas se remontan al año 2.500 A.C. mediante la utilización de muelles de soplado [22], como el que se muestra en la Figura 3.5.

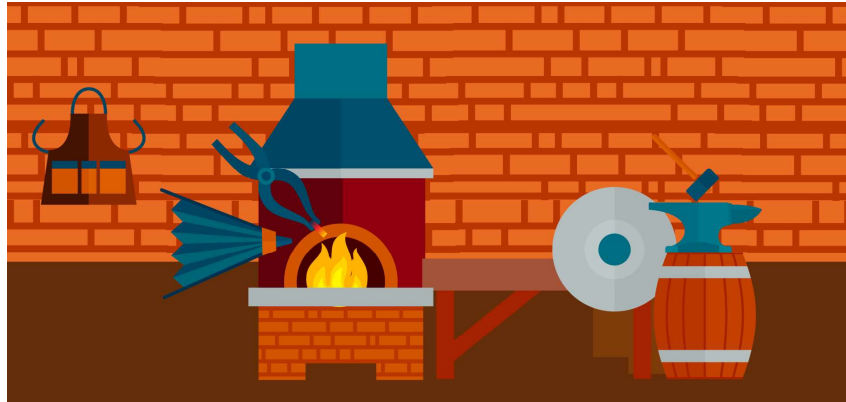


Figura 3.5: Primer Fuelle Neumático Manual para Herrerías del Año 2.500 A.C.

La Neumática ha sido utilizada en ámbitos industriales como el transporte en general, la industria de alimentos y el sector farmacéutico, principalmente. Esta, como rama de la Automatización CIM, surgió a partir de la Ingeniería Mecánica con el objetivo de estudiar, equilibrar y mover flujos de aire. También utiliza el aire comprimido como medio para transferir la energía necesaria a diferentes maquinarias como automóviles, elevadores, montacargas, etc. Utilizar aire comprimido para mover y operar dispositivos mecánicos garantiza una mayor velocidad y una mayor eficiencia en la producción. En la Figura 3.6 se presenta un ejemplo de un sistema neumático con movimiento secuencial, o Autómata Neumático, como se le dirá de aquí en adelante en este libro. Este fue implementado en el Laboratorio de Automatización Industrial de la Universidad ECCI.

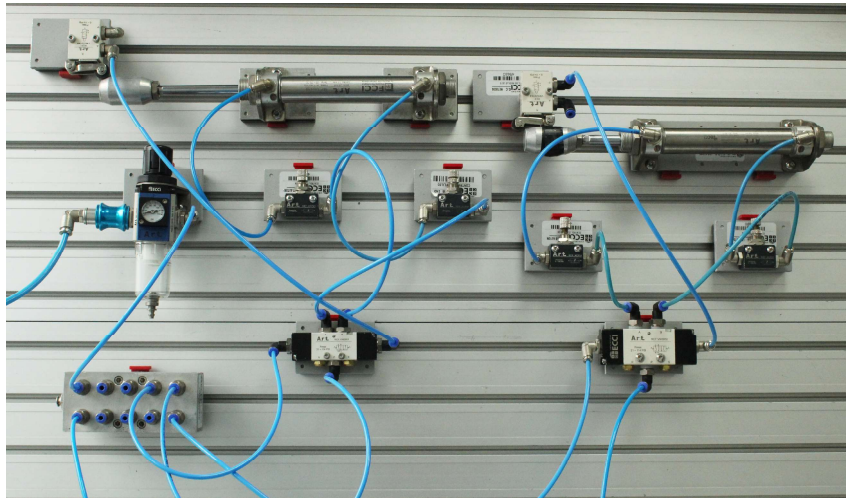


Figura 3.6: Autómata Secuencial Basado en Neumática.

3.4.2 Electroneumática

La Electroneumática es aquella técnica de automatización que se encarga de articular dos ramas de la ingeniería: la Neumática y la Electricidad/Electrónica. Sin embargo, en esta técnica de automatización se siguen manteniendo los actuadores neumáticos, pero a diferencia de la Neumática convencional, las válvulas son gobernadas mediante electroimanes o solenoides. Las electroválvulas

son en sí dispositivos capaces de convertir una señal puramente eléctrica en una de naturaleza neumática, por tanto, los sensores de final de carrera y recolectores de información son elementos eléctricos y electrónicos. Es posible así inferir que la Electroneumática es la producción y la transmisión de señales eléctricas/electrónicas por medio de elementos eléctricos y electrónicos, para accionar actuadores neumáticos [20, 21].

En general un sistema electroneumático consta de un circuito neumático de potencia y circuitos eléctricos o electrónicos (PLC o Microcontroladores) que realizan el control del movimiento [21, 19]. Este conjunto puede llegar a adquirir niveles de complejidad considerables, es por ello que es importante conocer cómo se encuentra constituido un autómatas electroneumático [21]:

- Elementos eléctricos y electromecánicos para la entrada de señales.
- Elementos eléctricos o electrónicos para el procesamiento de señales.
- Elementos neumáticos para el accionamiento y direccionamiento del aire comprimido de potencia.

Un ejemplo de esta técnica de automatización CIM se presenta en la Figura 3.7.

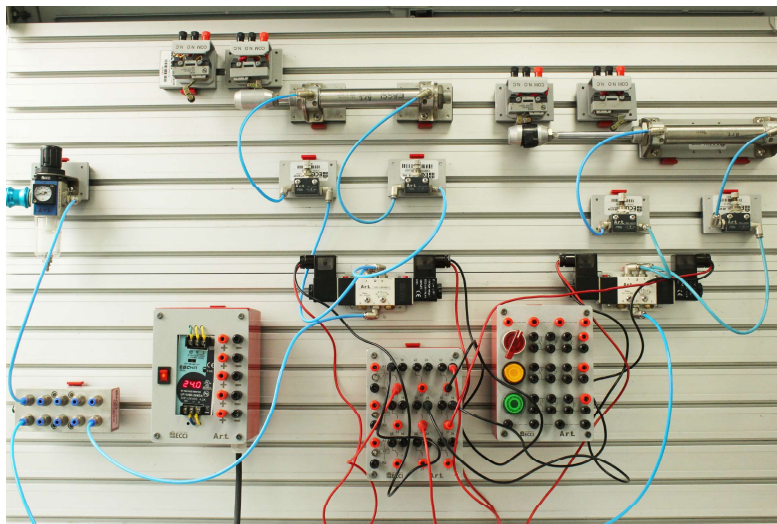


Figura 3.7: Autómata Electroneumático Controlado por Lógica Cableada.

3.4.3 Automatización CIM por medio de PLC

La invención e inclusión del PLC en la industria estuvo fundamentada en gran medida por las exigencias de la industria automotriz en los años 60. Esto principalmente debido a que en la fabricación de autos, frecuentemente se alternaban los sistemas de control en las diferentes líneas de producción y estos cambios resultaban altamente costosos, puesto que había que implementar una nueva instalación con cada cambio en el modelo de automóvil que se decidiera fabricar [7, 14]. A principios de los años 70, los PLC ya incorporaban el microprocesador. En 1973 aparecieron los PLC con la capacidad de comunicación - Modbus de MODICON. De este modo, los PLC eran capaces de intercambiar información entre ellos y podían situarse lejos de los actuadores y los objetos que iban a controlar. Así se incorporaron también otras prestaciones como manipulación de datos, cálculos matemáticos, elementos de comunicación hombre-máquina [6], etc. A mediados de los años 70 – apareció la tecnología PLC, basada en microprocesadores bit-slice (ej. AMD 2901/2903) [15]. Los principales productores de PLCs en esos tiempos se convirtieron en grandes

compañías de automatización industrial como por ejemplo Allen-Bradley, Siemens [16, 17], Festo [2, 18], Fanuc, Honeywell, Phillips, Telemecanique, General Electric [5], etc.

Desde la década de los 80 hasta nuestros días, los PLC han experimentado mejoras continuas, como el aumento de su memoria, la posibilidad de tener entradas/salidas remotas, tanto analógicas como numéricas, la inclusión de funciones de control de posicionamiento, aparición de lenguajes con mayor número de funciones y mayor capacidad de procesamiento, aumento del desarrollo de las comunicaciones con periféricos y ordenadores, por mencionar algunas cuantas [20, 6]. Por ese entonces, las tecnologías dominantes eran máquinas de estados secuenciales y con CPUs basadas en el desplazamiento de bits. Los PLC más populares fueron los AMD 2901 y 2903 de Modicon. Los microprocesadores convencionales aportaron la potencia necesaria para resolver de forma rápida y completa la lógica de los pequeños PLC. Así, por cada modelo de microprocesador, existía un modelo de PLC basado en el mismo, aunque fue el 2903 uno de los más utilizados. Sin embargo, esta falta de estandarización generó una gran variedad de incompatibilidades en la comunicación debido a la existencia de un *maremágnum* de sistemas físicos y protocolos incompatibles entre sí [23, 6].

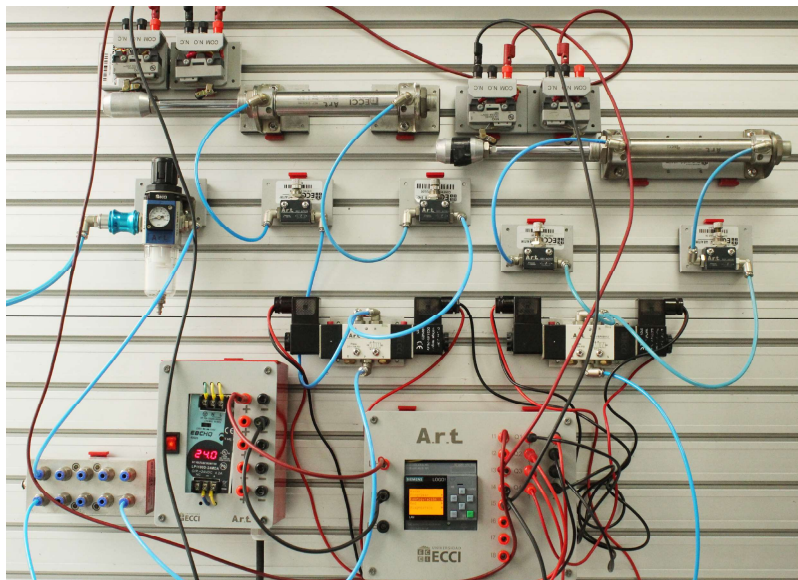


Figura 3.8: Autómata Electroneumático Controlado por Medio de PLC.

También en los años 80 se produjo el primer intento de estandarización de las comunicaciones con el protocolo MAP (Manufacturing Automation Protocol) de General Motors. Fue posible también reducir las dimensiones de los PLC y se pasó a programarlos por medio de una programación simbólica usando computadores personales en lugar de los terminales clásicos de programación. De hecho, hoy en día, el PLC más pequeño es del tamaño de un simple relé. Los PLC actuales cuentan con una rápida velocidad de respuesta, una reducción considerable en sus dimensiones, una mayor concentración del número de entradas/salidas en los respectivos módulos, etc. Un ejemplo de un Autómata Industrial basado en un PLC, usado para propósitos didácticos en el Laboratorio de Automatización de la Universidad ECCI, se muestra en la Figura 3.8.