



*II CAIM 2010
Segundo Congreso Argentino
de Ingeniería Mecánica
San Juan - Noviembre 2010*

DE LA ELECTRÓNICA INDUSTRIAL A LA MECATRÓNICA: Un cambio de paradigma en la enseñanza de la Ingeniería

Prof. Ing. (MDE) BARNEDA, Roberto Adémar

*Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional Buenos Aires
Av. Medrano 951 (C1179AAQ) Ciudad Autónoma de Buenos Aires.
Ingeniería Mecánica
e-mail: rbarneda@hotmail.com*

RESUMEN

La evolución histórica de los dispositivos de control utilizados en la electrónica industrial muestra que se requiere un enfoque sistémico para continuarla en su acelerado crecimiento. Este enfoque solo se logra mediante un cambio de paradigma en el proceso enseñanza-aprendizaje de la ingeniería, con el nacimiento de una nueva disciplina: la mecatrónica.

En ella deben confluir conceptos de diseño provenientes de la ingeniería electrónica, la eléctrica y la mecánica, más saberes especializados de las ciencias básicas.

Palabras claves: dispositivos electrónicos de control; mecatrónica; lazos cerrados de control

Abstract

The historical evolution of control devices applied by industrial electronics shows that a systemic insight is required in order to continue its accelerated growth. This insight can only be achieved by means of a paradigmatic change in the present engineering teaching-learning process, giving birth to a new discipline: mechatronics. Design concepts becoming from electronic, electric and mechanical engineering must merge with specialized knowledge from basic sciences.

Keywords: control electronic devices; mechatronics; closed control loops

1 Introducción

Desde un punto de vista metodológico es conveniente definir una línea histórica directriz dentro la electrónica industrial, que nos lleve a la mecatrónica, a sabiendas que los hitos oscilaran alrededor de dicha dirección, tal como hace un rayo cuando atraviesa nuestra atmósfera, pues es poco probable que se den todos los requisitos para que dichos hitos coincidan plenamente con la directriz trazada.

Para ello intentamos fijar en el pasado un punto de referencia de tal origen.

Analizando elementos, materiales y dispositivos usados en el pasado, es posible concluir que el verdadero hito que fija el inicio de la electrónica industrial, es la invención del relé (también denominado relevador, relay, relais, etc.).

Su inventor, Joseph Henry, dio entonces en 1835, el puntapié inicial en la electrónica industrial.

Aunque ya se conocía los rudimentos de la electricidad, es con el relé y su inventor donde aparece la solución de un problema, con una aplicación ingenieril específica, generando el concepto de amplificación.

El otro punto en la directriz es la inteligencia artificial, con lo cual la mecatrónica se asienta como una nueva forma metodológica de aprender ingeniería, pues este nuevo concepto involucra a todas las disciplinas del quehacer ingenieril.

2 Los comienzos de la electrónica y su evolución en la industria

2.1 El relé

El comienzo de la electrónica, fue entonces el relé, un dispositivo electromecánico, que funcionó, en su origen como amplificador de tensión. Su denominación proviene del nombre original de relevador, ya que permitía aumentar el alcance de la señal en las líneas telegráficas, donde se aplicaba.

Hoy se desaprovecha esta particularidad, ya que ahora se lo usa como amplificador de corriente, en innumerables aplicaciones.

Era y sigue siendo un elemento seguro y confiable, que acepta que en los sistemas, el control y la potencia sean de características muy diversas, de distinto nivel y de distinto tipo de energía eléctrica, vinculando a través del magnetismo, solo los conceptos lógicos, asegurando de este modo aislamiento galvánico e inmunidad a los ruidos electroelectrónicos.

Ha tenido aplicaciones importantes a lo largo de su larga vida. Aún hoy sigue siendo un recurso válido, siempre que se requieran prestaciones fuertes, seguras y de un número de aplicaciones reducido, esto es no mas de 10×10^6 operaciones.

Los contactores son una clara muestra de ello. Pudieron aceptar con gran ductilidad las condiciones de accionamientos seguros en baja tensión (menores a 48 V).

Al comienzo en las instalaciones eléctricas industriales, la bobina del relé se hacía actuar con corriente alterna y tensión de línea.

El uso de corriente alterna, hacía que las bobinas estuviesen tecnológicamente armadas de modo tal de ser capaces de enmascarar los efectos de las alternancias de la frecuencia de línea.

Mas adelante, se requirió baja tensión para un accionamiento seguro. Un transformador reducía la tensión y permitía a los comandos que accionaban las bobinas de los contactores manejar las potencias a través de ellos en condiciones de seguridad eléctrica para los operadores.

Esta condición de escalonar potencias con control de señales de corriente bajas (algunos mA) le permitió ser el elemento clave en el control industrial en los fines de la primera mitad del siglo XX.

Sin embargo, esta configuración solo permitía controlar los comandos eléctricos pero no los parámetros físicos en general.

Se requeriría una interfase que hiciera posible esta transformación, esto es ver a los parámetros físicos como señales eléctricas de baja intensidad.

Como interfase entre los parámetros físicos y la electricidad, era necesario contar con un amplificador que resolviera ese problema, en forma analógica, para luego, trabajar la señal para su acondicionamiento en el ámbito industrial, asegurando un control eficiente de los equipos.

Las válvulas fueron la solución como amplificador.

Manejaban alta tensión (aproximadamente 250 Vcc), pero bajas corrientes, con lo cual la presencia del relé como elemento de interfase era clave a la hora de manejar las potencias eléctricas necesarias.

Es de aclarar que el relé solo operaba como llave es decir abría o cerraba los circuitos, sin poder lograr una transferencia continua del parámetro físico, que si variaba de ese modo.

Los relees son lentos y limitados en su número de operaciones.

Las demoras propias de ellos eran aceptadas como lógicas, dentro de las exigencias de los desarrollos de ese momento.

La generación de corriente continua para uso industrial se vislumbraba como algo fundamental para optimizar el uso de los relees. Los diodos termoiónicos y los rectificadores de óxido no se adaptaban a las exigencias de los mismos.

Donde era imprescindible la corriente continua, se recurría a las baterías electroquímicas y a estas se las cargaba mediante sistemas rectificadores de selenio, que disipaban mucha temperatura, por su bajo rendimiento

2.2 El diodo semiconductor

A fines de la década de 1930, hace su aparición en el ámbito de la investigación, el diodo (no termoiónico), que es reservado como estratégico, pues se avecinaba la Segunda Guerra Mundial.

La terminación de la Segunda Guerra Mundial trae aparejado un conjunto de evoluciones tecnológicas.

Uno de ellos es el diodo semiconductor, que al difundirse su utilización en el mundo, hace que cambie la electrónica domiciliaria, extendiéndose a la electrónica industrial, ya que se vuelve común la generación de corriente continua, de distintos niveles de tensión y corriente, que hasta entonces estaba reservada para los grandes laboratorios de investigación.

Con la aparición del diodo semiconductor la electrónica en general y la industrial en particular presentaron una evolución impulsiva.

El poder materializar fuentes de corriente continua de baja tensión y alta corriente fue un logro importantísimo para la aplicación de la lógica del relé.

El cambio fundamental en las fuentes de corriente estaba dado por:

- manejo de altas corrientes y bajas tensiones
- mínima disipación
- mínimo volumen
- muy buena respuesta a las vibraciones
- larga vida de funcionamiento
- gran flexibilidad para las cargas
- máxima condición de seguridad por:
 - el empleo de tensiones inferiores a los 48 v,
 - el aislamiento galvánico de los transformadores y
- la baja temperatura de funcionamiento.

Se empiezan a utilizar los inductores (como filtros) en la industria y se logran niveles de corriente continua con muy bajo ripple, cosa que hace a una significativa mejora de los equipos en lo referido a la inmunidad al ruido.

2.3 Los sistemas de control a lazo cerrado

Otra evolución de posguerra, quizás la más importante de todas, desde el punto de vista industrial, y en particular de la automatización, han sido los sistemas de control de lazo cerrado.

Habiendo rendido satisfactoriamente en los enfrentamientos bélicos de la Segunda Guerra Mundial, sobre todo en los equipos de la marina como así también en la aeronáutica.

De hecho, muchos de los desarrollos industriales provienen de la aeronáutica y aún siguen llegando de la misma fuente.

Los sistemas de control de lazo cerrado ya existían, pero estaban referidos casi exclusivamente a fenómenos de tipo estratégico-militar.

La necesidad de capacitar gente en este ámbito puso en evidencia la importancia que tenían los sistemas de control de lazo cerrado.

Indudablemente, estaba muy lejos todavía la industria de tener sistemas de este tipo, pero ya empezaban a hacerse algunas tareas en las que se necesitaba garantizar de algún modo la reproducibilidad, esto es, que hubiera muy baja dispersión entre un elemento producido y el siguiente, con lo cual para aquellas tareas de carácter repetitivo era imperioso manejar un concepto de sistema de control de lazo cerrado, ya que con ello se podía conocer y acotar cuál era la dispersión que tenía la producción.

La aplicación de los mismos en la industria era un hecho.

La diferencia fundamental entre el sistema de control de lazo abierto y el sistema de control de lazo cerrado, es que el segundo tiene capacidad de ir corrigiendo por sí el resultado, mientras que en el primero esas correcciones deben estar a cargo de un operador.

La incorporación en los sistemas de control a la industria, primero con aplicaciones electromecánicas y luego con neumática (ver apéndice II), fue la solución en la coyuntura evolutiva.

Aumentar la producción y mantener los estándares de calidad, era fundamental después de la Segunda Guerra Mundial, pues el desabastecimiento era importante, con lo cual la demanda era grande. También había poca mano de obra disponible y lo importante era que esa mano de obra estuviera dirigida a realizar funciones que sólo el hombre podía efectuar y que todas aquellas tareas de tipo rutinario o repetitivo, fueran asignadas a los sistemas de control.

La aplicación de la electrónica, en forma masiva se vio demorada por sus problemas de baja confiabilidad, pero se demoró aún más por la presencia de la neumática.

La electrónica, en los principios de la segunda mitad del siglo pasado, presentaba, en cambio, condiciones erráticas producto del ruido electroelectrónicos presentes en los primeros equipos, que la hacían, en cierta medida, no confiable e insegura, pero su incorporación era un hecho, por su alta vida y su gran velocidad.

2.4 El transistor

En el año 1947 se inventa el transistor, y ello representa un quiebre conceptual.

Con el advenimiento del transistor, los paradigmas de la electrónica industrial cambiaron significativamente.

La alta tensión se cambió a baja, las bajas corrientes a moderadas.

Las grandes ventajas para el uso industrial de los semiconductores, fueron y seguirán siendo:

- la prolongada vida útil,
- la alta velocidad,
- la baja disipación,
- el tamaño reducido y
- la alta capacidad para aceptar las vibraciones.

Sin embargo, las aplicaciones se masificaron solo luego de transcurrido un cierto tiempo, tiempo en el cual la electrónica del semiconductor se veía obligada a dar acabadas muestras de su alta confiabilidad.

Manejar las condiciones térmicas en los semiconductores era y es un punto a tener presente, pues son sensibles a ello, siendo una limitante importante en el mundo de la industria.

Hoy la tecnología electrónico-mecánica, dando pronta repuesta a los problemas, desarrolló dispositivos confiables y baratos (los cooler's) que han resuelto el intercambio térmico con solvencia.

El transistor dio muestras de ser un componente que, con tecnología diferente, relacionaba distintos niveles de corriente, similar a lo realizado por el relé, pero añadiendo:

- comportamiento analógico
- comportamiento digital
- mayor velocidad,
- mayor duración,
- menor espacio,
- muy baja disipación y
- muy buena repuesta a las vibraciones.

Simultáneamente, una alta confiabilidad se lograba con:

- buena calidad de la alimentación (CC con muy bajo riple),
- muy buen control de la temperatura,
- mucha limpieza del ambiente y.
- mucha sensibilidad de parte del personal de mantenimiento.

Fue un cambio fundamental en los paradigmas de la electrónica industrial.

Ahora se podían hacer muchas cosas en un espacio reducido y con un precio mucho menor que utilizando válvulas electrónicas, que además del alto costo, conllevaban una limitación fundamental para todo el hecho productivo, la del bajo número de horas de servicio.

Esto obligaba a tener una rutina permanente de mantenimiento para reemplazar a las válvulas, que al cabo de un puñado de horas de servicio habían perdido su capacidad.

Quizás ésta sea la diferencia fundamental entre un laboratorio o el hogar y la industria.

Tanto en el hogar como en el laboratorio, el número de horas de uso que se le da a un equipo es limitado, sin embargo, en la industria se requiere que los equipos sean capaces de trabajar durante las 24 horas, durante periodos prolongados.

La tecnología electrónico-mecánica, dando pronta repuesta a los problemas, desarrolló dispositivos confiables y baratos (los cooler's) que han resuelto el intercambio térmico con solvencia.

2.5 La fuente regulada de tensión, el amplificador operacional y el temporizador de precisión

Ya en el año 1970 la electrónica comienza a presionar severamente con los conceptos de integración. Aparecen entonces varios componentes integrados, esencialmente lineales, entre ellos:

- la fuente regulada de tensión,
- el amplificador operacional y
- el temporizador de precisión.

La fuente regulada de tensión integrada, dio lugar a disminución sensible del riple, aún en condiciones variables de carga, manteniendo la tensión estable, que solo necesitaba pocos componentes discretos y era segura en su aplicación industrial.

El amplificador operacional (AO), resultó de gran importancia, porque permitía de algún modo disponer de todas aquellas funciones matemáticas que al diseñador se le ocurría o necesitaba utilizar.

El amplificador operacional era así la materialización de un dispositivo de características que por cierto fueron dadas por matemáticos y físicos del momento, pero que cuando se le aplicaban las señales electrónicas, el dispositivo respondía dando los resultados previstos, teniendo presente las condiciones de borde.

Para su uso era necesario en aquel entonces manejar dos fuentes: una positiva y otra negativa. Pero todo eso se fue transformando y evolucionando hasta llegar a la condición actual.

Los temporizadores de precisión hacen su aparición y logran resolver temas asociados a los tiempos.

Este desarrollo viene de la aeronáutica y se difunde en la industria, aún en nuestros días,

2.6 las familias lógicas

Luego hacen su aparición las primeras series lógicas DDL; DTL; TTL.

Este concepto de integración está asociado con la lógica digital.

2.7 Los instrumentos digitales

Esta digitalización despierta un interés en la fabricación de instrumentos digitales, ya que aseguran disminuir el error de lectura del operador, pues solo hay que leer la indicación y no analizarla como en el caso de los instrumentos analógicos.

En la década del '60 aparecen tímidamente los instrumentos digitales, que se quedan con el mayor porcentaje del mercado del instrumental electrónico ya en el 1980. A partir de entonces, a los instrumentos analógicos sólo le quedan aplicaciones que permiten visualizar la lectura desde una forma relativa y proporcional.

El instrumento analógico que, desde 1900 con el instrumento de D'Arsonval, había permitido medir distintos parámetros, cae en desgracia, pues no permitía almacenar la información obtenida en forma digital. La alta capacidad de los nuevos circuitos integrados para transformar señales analógicas en digitales y una mejora sustantiva en los métodos de integración permiten, aún hoy, una alta y permanente evolución de la electrónica digital.

En los años '80 ya no podía pensarse en la posibilidad de una industria sin electrónica y aparece la fuerte vinculación entre la industria de la electrónica y la eléctrica.

La electrónica ha desplazado a la eléctrica en toda el área de control, aunque la eléctrica sigue siendo la rama de ingeniería que domina la potencia.

Nos estamos acercando a los años 90, fines del siglo XX, y nos encontramos con un dispositivo que en sí mismo es un gran sistema de control de lazo cerrado pero de dimensiones reducidas, y que además tiene la posibilidad de calcular, corregir las distintas salidas dependiendo de qué señales sean las que están comprometidas y de acuerdo con una programación previamente definida. Ha nacido el micro controlador.

2.8 Los microcontroladores

Se difunde velozmente, tan rápido, que hoy ya están disponibles los calculadores incorporados a los sistemas. Éste es quizás el hecho más sorprendente que se ha producido en el marco de la evolución de la electrónica.

Aplicados en todos los sistemas de control, no solo industriales, sino también en los computadores personales.

Con una integración muy importante, se logran velocidades que hacen que los procesos puedan ser recorridos en más de una oportunidad, y tomando distintos lazos de control, como para verificar varias rutinas, e incluso realizar cálculos que le permiten ir ajustando los resultados para obtener incertidumbres tan ajustadas, como sea necesario, obteniéndose una repetibilidad nunca antes pensada.

2.9 El montaje superficial

Ya se había logrado un nivel de integración importante en los integrados y microprocesadores, faltaba optimizar el montaje de los elementos discretos que acompañan a los integrados. Para ello se desarrolla toda una tecnología que permite montar los elementos sobre el circuito impreso en forma automática, gracias al desarrollo de máquinas automáticas que colocan al componente en su sitio para luego proceder al soldado automático.

Aquí es otro ejemplo de la integración disciplinaria puesta de manifiesto con este nuevo concepto que es la mecatrónica.

No solo participan fuertemente electrónica y mecánica, sino que también cumple su rol la ingeniería química, con el desarrollo de adhesivos capaces de cumplir su cometido, con tiempos de curado preestablecidos y que sean capaces de soportar las temperaturas del proceso de soldado

3 Un paradigma distinto

Hay un fuerte cambio de paradigma modificándose la electrónica de la exactitud por la electrónica de la incertidumbre

Esto conlleva algo fundamental: que dejan de existir en su mayoría los ajustes de tipo mecánico-eléctrico, para aparecer valores conocidos con una determinada incertidumbre que se incorporan como información al microprocesador de modo tal que éste, mediante su herramienta matemática de cálculo, realice los ajustes necesarios como para que la señal de salida satisfaga las condiciones de la especificación.

Como no hay elemento mecánico alguno que pueda ser afectado por la vibración o por el simple paso del tiempo, estos sistemas se vuelven hoy más confiables.

Así también se reducen fuertemente los costos de mantenimiento, por no tener que ser recorrido el instrumental para su calibración.

A este paradigma nuevo hemos llegado luego de recorrer el camino cuyos principales hitos señalados por la incorporación de nuevos dispositivos, resumimos en el Apéndice I.

Todos los sistemas que se precien de pertenecer a este momento de ingeniería deben tener esta nueva consigna como elemento de base, con lo cual, las estabilidades de los sistemas se han hecho una herramienta de uso corriente en el nuevo mundo tecnológico.

4 Un cambio de paradigma en la enseñanza

Este recorrido acelerado, a vuelo de pájaro, señalando los emergentes más relevantes entre los dispositivos desarrollados y aplicados por la electrónica industrial en poco más de un siglo, ahora nos presentan un desafío en la enseñanza de grado de la ingeniería.

Para que la relación entre la mecánica, la eléctrica y electrónica sea un todo, es necesario pensar que estamos frente a una nueva disciplina integral, que hoy nos convoca: **la mecatrónica**

Se trata de un concepto sistémico fundamental. No se puede asegurar un comportamiento electrónico ó eléctrico o mecánico preciso, si no se tiene pleno dominio de las incertidumbres de las tres disciplinas y la forma en que éstas interactúan con la incertidumbre de la salida.

Estas interrelaciones y los autocontroles nos acercan a los robots industriales, que chequean todos sus parámetros y realizan la tarea si y solo si se dan todas las condiciones establecidas.

Hoy es común verlos por ejemplo, en las terminales automotrices, donde las tareas rutinarias, riesgosas e inseguras están a cargo de estos dispositivos.

La evolución es de tal magnitud que estos sistemas se auto-chequean y, si se detectan que su incertidumbre está fuera de especificación, dejan de realizar la tarea, dando lugar al sistema de relevo (ó stand by) al que están acoplados, dando además aviso al pequeño ejército de ingenieros electrónicos y mecánicos que acuden a su llamado.

La electrónica del microprocesador les ha permitido a estos robots ser flexibles, esto es, introducir cambios en las operaciones a realizar según el elemento entrante al sistema.

Pero ¿de qué depende el buen desempeño de estos sistemas?

- de la ingeniería electrónica,
- de la ingeniería eléctrica y
- de la ingeniería mecánica.

Ya no se puede hablar de sistemas abiertos. Como consecuencia, debemos hablar de una disciplina que englobe integral y coherentemente los conocimientos comunes y no comunes de las disciplinas tradicionales: **la mecatrónica**.

Esta nueva forma de ver la ingeniería implica que se debe nutrir a los nuevos involucrados con ella, de conocimientos esenciales para llevar adelante su cometido.

Deben conocer en profundidad sobre las fuentes energéticas:

- Naturales
- Mecánicas
- Eléctricas
- Fluídicas

Deben dominar las ciencias básicas:

- Matemática

- Física
- Química

Deben ser capaces de vincular las distintas ciencias y disciplinas de modo tal de obtener:

- El mejor rendimiento energético,
- Flexibilidad operativa y
- Eficiencia económica.

La creatividad debe estar siempre accesible para poder resolver los distintos problemas que se plantean en la resolución de desafíos crecientes por los cambios de las tecnologías del entorno.

Acceder a estos nuevos conocimientos pone al hombre en una posición de avanzada para resolver las complejas cuestiones técnicas que los nuevos tiempos imponen.

5 Conclusión

Para abordar con éxito esta nueva disciplina: la Mecatrónica, es imprescindible asegurar un conocimiento muy acabado de las ciencias básicas.

Es posible que se requiera una formación especial para poder abordar los temas de especialización de las disciplinas como Mecánica, Electrónica y Eléctrica, no ya como entidades individuales, sino desde un punto de vista sistémico. Una formación de postgrado puede completar la formación de estos nuevos ingenieros, que serán sin duda los nuevos artifices de los futuros logros ingenieriles para los años venideros.

6 Apéndice

Apéndice I

GRANDES HITOS DE LA ELECTRÓNICA INDUSTRIAL

• el relé	1835 -continúa
• el diodo rectificador no termoiónico	1930 -continúa
• los sistemas de control a lazo cerrado	1942 -continúa
• el transistor	1947 -continúa
• el amplificador operacional	1960 -continúa
• la fuente regulada de tensión	1962 -continúa
• las familias lógicas	1965 -continúa
• el temporizador de precisión	1969 -continúa
• los instrumentos digitales	1970 -continúa
• el montaje superficial	1970- continúa
• cambio de paradigma en el SI	1973 -continúa
• programador lógico controlable	1980 -continúa
• microcontrolador	1985 -continúa
• fuentes conmutadas	1987 -continúa
• nueva serie de sensores	1987 -continúa
• trazabilidad -incertidumbre	1993 -continúa
• robots industriales	1995 -continúa
• nanotecnología	1997- continúa
• mecatrónica	2000 -continúa

Las fechas indicadas son tentativas, pues depende del país y de la puesta en marcha en forma masiva. La evolución depende de las necesidades de las industrias y de los objetivos-país que las políticas de Estado de cada nación contemplan para su territorio.

Apéndice II

La neumática en la industria

Dada la necesidad de generar sistemas de control, para automatización industrial y las dificultades que presentaba la electrónica en ese ámbito, la industria hace uso de la neumática, que con sólo asegurar la calidad del aire, como requisito importante, brindaba:

- Seguridad,
- Mantenimiento predictivo,
- Condiciones de diseño sencillas,
- Posible modulación y
- Velocidades acordes con las velocidades de producción de la época

La neumática capacitó y generó a los operadores neumáticos de mantenimiento.

Hoy la neumática tiene reservado un lugar importante en todos los sistemas que requieran seguridad extrema, o que deban trabajar en zonas altamente explosivas.

Resultan ser muy sensibles a los ambientes sucios, que lo deterioran con facilidad. Son caros, lentos y de baja precisión (no aseguran per se repetibilidad)

Una disciplina que de ella se desprende es la fluidica, que genera acciones lógicas con muy baja presión de aire (del orden de los mbar

7 Referencias

- KLOEFFLER, Royce Gerald *Electrónica Industrial Y Control* Ed. Comp. Edit. Cont. S.A. 1949
- COSTA Enrico *Tecnología Electrónica* Editorial Hoepli 1968
- GONZALEZ – MARIANI *Sistema De Control* Ed. Nexus Editorial 2000
- ERONINI-UMEZ-ERONINI *Dinámica De Sistemas Y Control* Ed. Thomson Learning 2001
- BOLTON. W *Mecatrónica Sistema de Control Electrónico en Ingeniería Mecánica y Eléctrica* 2001
- ALCIATORE, David HISTAND, Michael *Introducción A La Mecatrónica* Mc Graw Hill 2007