

De la Electrónica Industrial a la Mecatrónica: un cambio de paradigma en la enseñanza de la ingeniería

Roberto Barneda

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Buenos Aires,
Departamento de Ingeniería Electrónica y Departamento de Ingeniería Mecánica,
Medrano 951 (C1179AAQ) Buenos Aires, Argentina
e-mail: rbarneda@hotmail.com

Recibido el 27 de junio de 2008; aceptado el 18 de agosto de 2008

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 CLAVE: 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

Introducción

Desde un punto de vista metodológico es conveniente intentar definir una línea histórica directriz dentro la electrónica industrial, que nos lleva a la mecatrónica.

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.

Los comienzos y su evolución

El arranque fue entonces el relé, un dispositivo electromecánico, que funcionó 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, con aislamiento galvánico.

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.

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).

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 seguras 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.

Las válvulas manejaban alta tensión (aproximadamente 250 V), 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. Las demoras propias de los relés eran aceptadas dentro de las exigencias de los desarrollos de ese momento.

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

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

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

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

La seguridad de las operaciones industriales con aplicación masiva de la electrónica se vio demorada por la presencia 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 electrónica presentaba, en cambio, condiciones erráticas producto de los ruidos electroelectrónicos presentes en los primeros equipos, que la hacían, en cierta medida, no confiable e insegura.

Muchos de los desarrollos industriales provenían y siguen llegando de la aeronáutica. Así, en la década de 1930, hace su aparición el diodo (no termoiónico), con lo cual cambia y se extiende la electrónica industrial, que se vuelve más común y difundida, pues hasta entonces estaba reservada para los grandes laboratorios de investigación.

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 seguro
- * 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 riple, cosa que hace a una significativa mejora de los equipos en lo referido a la inmunidad al ruido.

Es entonces cuando sobreviene la Segunda Guerra Mundial. Ésta trae aparejado un conjunto de evoluciones tecnológicas.

Quizás la más importante de todas, desde el punto de vista industrial, y en particular de la automatización, sean los sistemas de control de lazo cerrado.

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.

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 sistema de control de lazo abierto esas correcciones deben estar a cargo de un operador.

Indudablemente, estaba muy lejos todavía la industria de tener sistemas de control de lazo cerrado, 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.

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

Era un componente que, con tecnología diferente, relacionaba distintos niveles de corriente, similar a lo realizado por el relé, pero añadiendo:

- 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.

Este hecho era fundamental después de la Segunda Guerra Mundial, pues el desabastecimien-

to 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.

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 temporizador de precisión y
- el amplificador operacional.

El amplificador operacional (AO), resulta 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.

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. Luego hacen su aparición las primeras series lógicas DDL; DTL; TTL. Este concepto de integración está asociado con un interés por una indicación con menor error que el de los instrumentos analógicos, que debía ser leída por un operador, concepto fuertemente limitador.

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.

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. Se difunde velozmente, tan rápidamente 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.

Un paradigma distinto

Hay un fuerte cambio de paradigma y se modifica 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.

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 presenta un desafío en la enseñanza de grado de la ingeniería.

Para que la relación eléctrica-electrónica y mecánica sea un todo, esto es, 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 se dan todas las condiciones establecidas. Hoy ya es común verlos en las terminales automotrices, donde las tareas rutinarias, riesgosas o inseguras están a cargo de estos dispositivos.

La evolución es de tal magnitud que estos sistemas se auto-chequean y, si se detectan fuera de especificación, dejan de realizar la tarea, dando lugar al sistema de relevo (o stand by) al que están acoplados, y dando 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

nueva 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.

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

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 artífices de los futuros logros ingenieriles para los años venideros.

APENDICE

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 terruño.

INSTRUCCIONES PARA LA PRESENTACIÓN DE ARTÍCULOS

El presente instructivo reúne las condiciones generales de presentación y formato e información general para todos los interesados en remitir sus contribuciones.

Presentación de los textos

Los trabajos, en versión impresa (original y copia), podrán ser remitidos a los miembros del Comité Editorial:

Lic. Miguel Languasco
Dr. Isaac Marcos Cohen

Facultad Regional Buenos Aires
Secretaría Académica
Medrano 951
(C1179AAQ) Buenos Aires, República Argentina

Recomendaciones generales

Proyecciones es una publicación destinada a un público amplio, con formación específica en diferentes campos del conocimiento, que se distribuye en diversos países de habla castellana. Por tal razón, se recomienda a los autores preservar la pureza y la claridad idiomática de sus textos y evitar el uso de vocablos de uso corriente en disciplinas particulares, pero no conocidos (o con significado distinto) en otros ámbitos. Asimismo, no deberán emplearse palabras derivadas de traducciones incorrectas (por ejemplo, asumir en lugar de suponer, o librería por biblioteca) o pertenecientes a otros idiomas, salvo cuando no existan en castellano equivalencias válidas, o cuando se refieran a técnicas o procesos conocidos por su denominación en la lengua original.

Se recomienda también evitar el uso indiscriminado de mayúsculas cuando se haga mención sustantivos comunes, como por ejemplo elementos químicos o técnicas particulares.

Es conveniente, en todos los casos, efectuar una adecuada revisión ortográfica y de sintaxis de los textos antes de su envío.

Pautas específicas

Se deberán contemplar las siguientes pautas:

La presentación corresponderá a un formato adecuado para hojas tamaño A4 (21 cm x 29,7 cm) escritas con interlineado simple, conservando los siguientes márgenes: superior e inferior, 2,5 cm; derecho e izquierdo, 3 cm; encabezado y pie de página, 1,2 cm. La fuente escogida es Tahoma, tamaño 12. Se recomienda muy especialmente a los autores respetar esta pauta, pues las conversiones posteriores desde otras fuentes, diferentes a la mencionada, pueden representar la distorsión o la pérdida de caracteres especiales, como las letras griegas. Se deberá emplear sangría en primera línea de 1 cm y alineación justificada en el texto.

En la página inicial se indicará el título en negrita, centrado y con mayúscula sólo en la primera letra de la palabra inicial; en otro renglón, también en negrita, iniciales y apellido del (de los) autor(es) y, finalmente, en itálica, el nombre y la dirección postal de la(s) institución(es) a la(s) que pertenece(n), junto con la dirección de correo electrónico del autor principal.

A continuación, dejando tres espacios libres, el texto, en espacio simple, comenzando con un resumen de 50 a 100 palabras, en castellano e inglés, también en negrita y con tamaño de fuente 10. Luego del resumen, deberán consignarse las palabras clave que orienten acerca de la temática del trabajo, hasta un máximo de cinco. Asociaciones válidas de palabras (por ejemplo, contaminación ambiental, fluorescencia de rayos X) se considerarán como una palabra individual.

Se aconseja ordenar al trabajo de acuerdo a los siguientes ítems: Introducción, Parte Experimental, Resultados y Discusión, Conclusiones, Agradecimientos (si existieren) y Referencias. Cada uno de ellos tendrá categoría de título y deberá ser presentado en forma equivalente al título original del trabajo, en negrita y centrado, mientras que los subtítulos se consignarán en el margen izquierdo y en negrita. Ninguno de estos ítems deberá ser numerado. La extensión del trabajo no podrá ser mayor que 20 páginas.

En hoja aparte se indicará el tipo de procesador de texto utilizado y la versión correspondiente.

Los autores deberán entregar un disquete conteniendo su trabajo y diagramado en la forma propuesta para la versión final impresa.

Tablas y Figuras

Las figuras deberán ser ubicadas en el texto, en el lugar más cercano a su referencia, con números arábigos y leyendas explicativas al pie. Las imágenes fotográficas deberán estar al tamaño 1.1 a 300 ppi, en formato tif, jpg o eps. Los gráficos o dibujos se presentarán, preferentemente, en vectores (formato .cdr o .ai); en el caso de estar presentados en forma de mapa de bits su resolución en 1.1 deberá ser mayor a 800 ppi. No podrán reproducirse figuras en color.

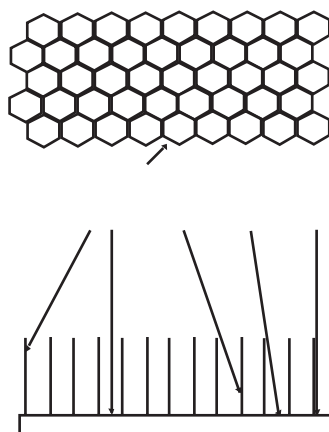


Figura 1. Ejemplo de ubicación de la figura y su leyenda explicativa (centrada, en negrita y fuente 10)

Las tablas se incluirán en el lugar más cercano a su referencia, con números arábigos y acompañadas con un título auto-explicativo en el encabezado.

Tabla 1. Ejemplo de formato para tabla y título (centrada, en negrita y fuente 10)

Magnitud	Condición A	Condición B
Magnitud A	1a	1b
Magnitud B	2a	2b

Agradecimientos

Los agradecimientos deberán ser escuetos y específicos, vinculados al trabajo presentado. Serán suprimidos los de naturaleza general o no aplicables a la contribución.

Referencias

Las referencias se consignarán en el texto indicando el apellido del autor (o primer autor, en trabajos de autoría múltiple) y el año de la publicación. Ejemplos: Gould (1958); Sah y Brown (1997); Probst y colaboradores (1997). Cuando la referencia se coloque a continuación de una oración completa en el texto, la forma indicada se convertirá en: (Gould, 1958). Las referencias múltiples se indicarán bajo un único par de paréntesis; ejemplo: (Sah y Brown, 1997; Probst y colaboradores, 1997). El ítem Referencias contendrá todas las citas consignadas en el texto, ordenadas alfabéticamente, tomando el apellido del primer autor. Los artículos incluidos en publicaciones colectivas deberán figurar en el orden: apellido e iniciales de todos los autores; entre paréntesis, año de publicación; abreviatura internacionalmente aceptada de la publicación; volumen; primera página del artículo. Las referencias a libros consignarán iniciales y apellido de todos los autores; título; página (si corresponde); editorial: Ejemplos:

GOULD, E. S. (1958) *Curso de Química Inorgánica*. Selecciones Científicas, Madrid, España.
PROBST, T.; BERRYMAN, N.; LARSSON, B. (1997) Anal. Atom. Spectrom. 12, 1115.
SAH, R.; BROWN, P. (1997) Microchem. J., 56, 285.

No deberán incluirse, bajo el ítem **Referencias**, citas bibliográficas no mencionadas específicamente en el texto del trabajo.

Mecanismos de Aceptación y Normativa General

Los trabajos serán revisados por reconocidos especialistas, designados por el Comité Editorial. El dictamen será, en cada caso: a) aprobado en su versión original; b) aprobado con pequeñas modificaciones; c) revisado, con necesidad de modificaciones significativas; d) rechazado. En los casos diferentes a su aprobación directa, los trabajos serán enviados a los autores. Cuando se trate de cumplir con modificaciones sugeridas por los árbitros, los trabajos serán sometidos a una nueva evaluación.

El envío de una contribución para *Proyecciones* supone que ésta no ha sido publicada previamente y, adicionalmente, la cesión de los derechos de publicación por parte de los autores. Cuando el trabajo ha sido ya presentado en una reunión científica (sin publicación de actas) o inspirado en una presentación de esta naturaleza, se aconseja citar la correspondiente fuente.