

MEMORIAS DE LA AUTOMÁTICA

Antonio Colino: un ingeniero de su tiempo

En los años 1940 y 1950, aunque este país estaba todavía inmerso en la oscuridad y el provincianismo de la posguerra, empezaban a vislumbrarse los primeros rasgos de lo que sería un relativo renacimiento de la vida nacional que acabaría conduciendo a la modernidad en la que hoy vivimos. Pese a la mediocridad reinante, no faltaba el entusiasmo en algunas personas por recuperar el largo tiempo perdido en la terrible Guerra Civil y en la lúgubre posguerra, y situar a España en condiciones de incorporarse a la ruta europea. El personaje al que hemos entrevistado es especialmente representativo del espíritu de aquella época en la que, junto con otros pioneros, empezó a sentar las bases de la ingeniería de control y la automática, así como de otras ramas de la ingeniería, como veremos luego.



Figura 1: Durante la entrevista.

Fue promotor del Instituto Nacional de Electrónica y consejero de la Junta Nuclear, de la que llegaría a ser Vicepresidente. En su vida profesional fue Director General de Marconi española.

Su obra es muy variada. Trabajó en teoría de los campos electromagnéticos, en circuitos de microondas, y, lo que a nosotros nos interesa especialmente, en servomecanismos, en donde es autor del primer libro sobre esta disciplina que se publicó en España, con prólogo de Esteban Terradas, libro de increíble modernidad aunque fuese pionero en su campo. En él se introduce la voz realimentación que sería adoptada posteriormente en todos los dominios de la ingeniería.

Terminó sus estudios en 1940. Fue el número uno de su promoción, la primera que se titulaba tras la Guerra Civil, y al poco fue elegido Profesor Titular (que es como se llamaban entonces los Catedráticos en las Escuelas) de la Cátedra de Electrónica de la Escuela Especial de Ingenieros Industriales de Madrid. Dice: “En 1940 fundó por primera vez la Cátedra de Electrónica en la Escuela de Ingenieros Industriales, y doy clase a mis propios compañeros de curso”. Fueron unos tiempos un tanto irregulares: “Empezamos el curso en octubre y lo terminamos en enero del 40, se comprimió el curso un poco.” La dedicación exclusiva no era entonces la norma en las escuelas de ingenieros. “Ya en el año 1946 estoy en Marconi Española que no es más que una sucursal de Marconi Wireless inglesa. Entre 1940 y 1945, debido a nuestra Guerra Civil, por una parte, y a la Mundial, por otra, se habían roto las relaciones entre la casa matriz y la nuestra, y así en 1946 voy a Marconi Wireless para que me conozcan y yo les conozca a ellos.”

La labor de ingeniería se ejercía entonces de forma marcadamente individual. Los equipos de investigación técnica, hoy imprescindibles para una labor sostenida, eran entonces desconocidos en nuestro país. “Allí me cuentan que hay un ingeniero de sistemas de antenas que está tratando de mejorar la recepción. Dicen que me lo presentarán por la tarde. Yo empiezo a hacer cálculos mentales y digo que ganará 16 decibelios. Por la tarde me lo presentan y dice como en guasa al otro: oye, éste dice que ganará 16 decibelios, y el otro sorprendido me pregunta ¿quién le dijo a usted eso? Nada, que hice un cálculo mental.”

De esta misma época son dos anécdotas que cuenta a continuación. Todas ellas son significativas de un tiempo en el que todavía la investigación en España no había recuperado el florecimiento de antes de la guerra ni alcanzado el de nuestros días. Se debatía entre la carencia de recursos y el esfuerzo individual minoritario de aquellos que sentían pasión por ella.

“Y ahora te voy a contar dos anécdotas: trabajo en electrónica, claro, y hemos hecho una emisora de onda media y vamos a hacer una emisora de onda corta, estamos suministrando tanto al Ejército, como a la Marina y al Aire, y somos los proveedores natos de este material. Resulta que el rendimiento de la emisora de onda corta es más bajo que el de onda media y no sabemos por qué, y estando en el baño pensé que el problema estaba en el tiempo que tarda el tránsito de los electrones del cátodo a la placa. Hago unas ecuaciones y me salen unas ecuaciones diferenciales con términos variables que no había manera de integrar. Entonces hago una chapucilla y al final lo envío a los de Marconi y al poco tiempo recibo una carta de ellos, que se alegran mucho de que haya tomado interés por esto, y como ven que estoy muy interesado en ello me envían un libro. Lo cuál es como una bofetada, que después de haber enviado unas cuartillas me respondan enviándome un libro. Pasan los meses y de pronto recibo la revista Marconi Wireless en la que aparecen mis notas con un prólogo, que ellos han puesto, diciendo que el estudio serio está hecho en el libro tal pero que es tan clara la concepción que yo hago, que aunque sea una aproximación merece la pena leerla previamente a la del libro.”

Destellos que en ausencia de un sustrato sólido, de un ambiente de investigación maduro, no alcanzan el desenvolvimiento que potencialmente tenían.

“La otra es que en el Instituto de Electrónica se publica una revista en la que yo publico bastantes artículos. Y uno de estos artículos está dedicado a explicar la teoría de la información de Shannon, en 1948, en el que se incluye la explicación y las deducciones que hace Shannon, pero se me ocurre seguir otro camino al de la demostración del propio Shannon. La teoría de Shannon lo que da es la información por la unidad de tiempo de un mensaje infinito. Y a mí, sin yo querer, por el otro camino, me sale la cantidad de información por unidad de tiempo en un tiempo finito, como continuación de la teoría de Shannon. Lo publico en la Revista del Instituto de Electrónica. Pasan unos meses y un día en Marconi se me presenta un oficial de la Navy diciendo que por qué no hago un contrato de investigación con ellos: que han leído el artículo. ¡La Navy! Entonces hacía poco tiempo que era el Director de Marconi y no puedo aceptar.”

Ésa última anécdota es muy sintomática del dilema al que se vieron sometidos muchos ingenieros en aquella época. Con todo, sin embargo, en el año 1947 se crea el Instituto Nacional de Electrónica, con Esteban Terradas como Presidente, con el que mantiene una estrecha colaboración. Todavía se refiere a él como don Esteban -¡que tiempos!-. Curiosamente una de las primeras tareas que tiene en el Instituto es el componer un vocabulario técnico.

“En esos tiempos, Marconi, es un *tsunami* de términos porque, claro, han sido ocho años en los que ha habido un desarrollo electrónico enorme en la guerra, muchos de ellos secretos, que incluso no se encuentran en los diccionarios angloamericanos. Microondas, radares y sonares, todo eso no ha entrado todavía en el vocabulario porque son secretos de guerra. A mí, en el año 46, me lo enseñaron en Marconi Wireless, pero no todo. Cuando estaba allí tenía que ir todos los lunes a la comisaría de policía porque todavía se mantenían los secretos militares.”

Y así inicia su prolongada vinculación con la terminología, que acabará incorporándole a la Real Academia Española, en donde, aún hoy, con el mismo entusiasmo de entonces, se ocupa de estas labores. “Para don Esteban una de las primeras cosas es el vocabulario, transformar el vocabulario, lo que para él tiene trascendencia y para mí también, porque es lo que me va a llevar, a lo largo del tiempo, a la Academia Española. ¡Cualquiera podía figurarse que aquello iba a acabar en la Academia Española!”

En aquella época, la asignatura de Servomecanismos, que es como entonces se llamaba lo que hoy conocemos como automática, formaba parte de la Cátedra de Electrónica. No hay que olvidar que los servomecanismos son uno de los desarrollos ingenieriles más importantes de la Segunda Guerra Mundial, y que los primeros textos a ellos dedicados no aparecen hasta después de la finalización de la guerra. Con motivo de su 50 Aniversario, la IFAC ha publicado recientemente un libro conmemorativo el que se recoge noticia de los primeros libros de texto sobre nuestra disciplina en los idiomas y países más notables del mundo (Janos Gertler (Ed.), *Historic*

CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS
PATRONATO JUAN DE LA CIERVA
INSTITUTO NACIONAL DE ELECTRONICA

TEORIA
DE LOS
SERVOMECANISMOS

FOR

A. COLINO
Ingeniero Industrial

Con prólogo de E. TERRADAS



MADRID
1950

Figura 2: Cubierta de la *Teoría de los servomecanismos* de Antonio Colino.

Control Textbooks, Elsevier, 2006). En Estados Unidos, por ejemplo, el primero que se registra es *Theory of Servomechanisms* de James, Nichols y Phillips, publicado en 1947. En Inglaterra es en 1950 cuando se publica *An Introduction to Servomechanisms* de Porter. Francia, Suecia, y la Unión Soviética se incorporan posteriormente. Pues bien, en 1950 se publica la *Teoría de los Servomecanismos* de Antonio Colino, cuya portada se reproduce en la figura 2. Su precocidad sorprendió incluso al editor del libro conmemorativo de la IFAC antes mencionado. Al mismo tiempo su actualidad se pone de manifiesto cuando se lee su índice, que se reproduce en la figura 3, o se hojean sus páginas, como las que se transcriben en la 4. Tanto los gráficos como las expresiones son las mismas que aparecen en cualquier texto de nuestros días, con la única salvedad de que en los libros actuales se emplea la s como variable en la transformada de Laplace, y en el de Colino se usa la p , como era habitual entonces en los libros franceses.

“Don Esteban entonces insiste en que debo escribir un libro sobre servomecanismos, me insiste repetidamente, y yo le digo que lo escribiré, pero con una condición: que usted haga el prólogo. Y efectivamente hace el prólogo, bastante amplio. Sin embargo, sucede la desgracia de que muere en 1950 antes de que salga el libro. Él no llegó a verlo impreso.”

En este libro se propone el uso del término realimentación como traducción de *feedback*, propuesta que haría fortuna en los medios ingenieriles españoles, en los que fue adoptada unánimemente. A mi pregunta sobre su paternidad de ese término responde: “Si, si, contra don Julio Palacios, que le sentaba muy mal.” ¿Ah, sí?, digo.

“El quería retroalimentación. Yo con don Julio Palacios tenía discusiones enormes. Una era entre el retro y el re, y otra era con relación a la teoría de la relatividad. Es curioso, pero él, a pesar de ser un físico, era antirrelativista. Yo no quería discutir con él pero en la Academia él me buscaba y siempre que decía alguna cosa, me miraba, y yo acababa diciendo: don Julio, yo no digo nada. Pese a todo le decía: don Julio en un acelerador lineal de partículas, si no hubiese teoría de la relatividad, los electrones irían subiendo indefinidamente en velocidad. Sin embargo, los aceleradores de partículas se calculan con la teoría de la relatividad; en los últimos pasos de un acelerador se asume que tiene una velocidad constante, muy cercana de la de la luz. Yo creo que eso es una demostración experimental y bien simple.”

Su trabajo de investigación original sobre sistemas realimentados se refiere al filtrado y predicción de procesos estocásticos no estacionarios, que constituyen posiblemente su aportación teórica más directa a la automática (A. Colino, "Predicción de procesos estocásticos no estacionarios", Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Madrid, 1975, 85-91). Un asunto al que había hecho aportaciones fundamentales Norbert Wiener, y que forma el sustrato teórico de su solución clásica al problema del control óptimo. “En efecto, en filtrado y predicción trabajé muchísimo. Incluso hice algunas fórmulas nuevas. Estos trabajos estaban basados en los de Wiener.”

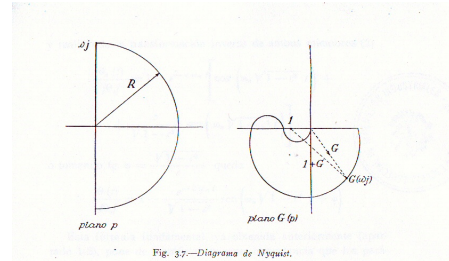
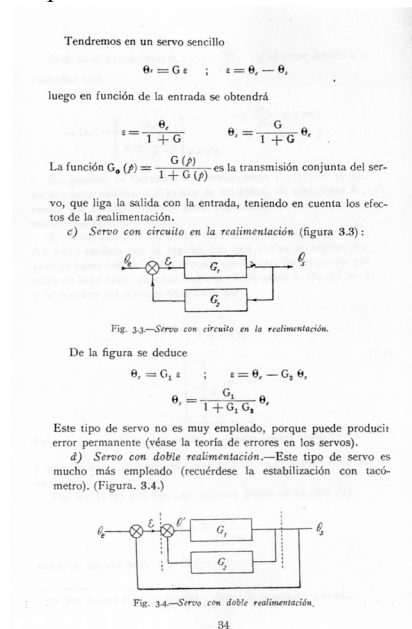
I N D I C E		Págin
PRÓLOGO	Páginas	
PRÓLOGO	7	
I.—INTRODUCCIÓN:		
1. Servomecanismos	15	
2. Actuación de un servo.....	16	
3. Servo con estabilización tacométrica.....	19	
4. Estabilización con la derivada del error	21	
5. Cierre de la introducción.....	23	
II.—FUNDAMENTOS MATEMÁTICOS DE LA TEORÍA DE LOS SERVOS:		
1. Sistemas lineales electromecánicos	25	
2. Serie e integral de Fourier	26	
3. Transformada de Laplace.....	27	
4. Solución de un sistema de ecuaciones íntegro-diferenciales mediante la transformada de Laplace.....	30	
5. Transformadas típicas.....	31	
III.—TEORÍA MATEMÁTICA DE LOS SERVOS:		
1. Composición de las funciones de transmisión.....	33	
2. Coeficientes de error	35	
3. Estabilidad de un servo	36	
4. Transformación de representaciones.....	38	
5. Criterio de Nyquist.....	38	
6. Condiciones complementarias de la estabilidad de un servo	39	
7. Otros métodos para el estudio de la estabilidad y actuación de un servo	43	
IV.—COMPONENTES DE LOS SERVOMEKANISMOS:		
1. Medidor del error	45	
2. Servomotores.....	49	
3. Amplificadores y alimentación de los servomotores.....	52	
V.—TRAZADO DEL DIAGRAMA DE NYQUIST:		
1. Funciones de transmisión	65	
2. Trazado del diagrama de Nyquist	68	
3. Curvas db y φ versus log. ω	73	
4. El diagrama modificado de Nyquist en coordenadas db y φ	78	
VI.—CORRECCIÓN DE LOS SERVOS:		
1. Consideraciones sobre el empleo de circuitos correctores.....	83	
2. Corrección de bajas frecuencias	84	
3. Corrección en altas frecuencias	86	
4. Realimentación múltiple	88	
5. Servomecanismos con corriente alterna.....	91	
6. Circuitos correctores con portadora	93	
APÉNDICES:		
1. Teoría de los autorreguladores	95	
2. Relaciones entre la atenuación y la fase	96	
3. El efecto del ruido en los servos.....	97	
4. Servos actuados por impulsos.....	99	
BIBLIOGRAFÍA	101	

Figura 3: Índice del libro.

Volviendo a sus relaciones con Esteban Terradas recuerda: “Hay una anécdota graciosa, y es que yo sé que va a dejar la presidencia del Instituto de Electrónica, y que va a pasar a la Junta Directiva Nuclear y que yo voy a ser, conjuntamente con él, consejero en esa Junta. Y efectivamente, claro, nos volvemos a encontrar en el 49, dejo el

Instituto de Electrónica y me lo encuentro en la Junta Directiva Nuclear, él como Presidente y yo como Consejero. Muere en el año 50, por lo que está muy poco tiempo en la Junta. Entonces implanto la Cátedra de Energía Nuclear en la Escuela de Ingenieros Industriales.” De este modo empieza a involucrarse, de nuevo con carácter pionero, en otra rama de la ingeniería de indudable modernidad: la nuclear.

Visto desde nuestros días, resulta penoso que ingenios como el de Colino no hayan podido dedicarse plenamente a la investigación y hayan dedicado su vida profesional a labores de organización y gestión. Todo un signo de los tiempos.



En resumen: el criterio de Nyquist permite simplemente, trazando el lugar geométrico de $G(j\omega)$, conocer si un servo es estable o inestable, según encierre o no el punto -1 . Por ser $G(p)$ una función de p con coeficientes reales $G(j\omega)$ y $G(-j\omega)$, son sencillamente conjugadas, y basta trazar $G(j\omega)$ desde $\omega = 0$ a $\omega = \infty$ ya que la figura de $\omega = 0$ a $\omega = -\infty$ es la mera imagen de la curva anterior en el eje real.

Hay que hacer observar que $G(j\omega)$ no es más que la respuesta a una función exponencial $e^{j\omega t}$ y, por lo tanto, medible experimentalmente en sus dos componentes de amplitud y fase, lo que permite el trazado experimental del diagrama de Nyquist de un servo ya construido.

6. Condiciones complementarias a la de estabilidad en un servo.—Para enjuiciar la actuación de un servo no es suficiente conocer si es o no estable; es además preciso conocer otras características, como son el tiempo de formación de la salida, forma de ésta, etc.

En realidad, para llegar a un conocimiento exacto sería preciso hallar la inversión de

$$\theta_s(p) = \frac{G(p)}{1+G(p)} \theta_r(p)$$

Figura 4: Dos páginas del libro en las que se pone de manifiesto su vigencia.

Sigue hablando de su versátil producción: “Publiqué un libro sobre electromagnetismo. En ese libro incluí el cálculo de los campos electromagnéticos en un punto en el que concurrían los elementos de una serie de emisores y el cálculo era complicadísimo. Entonces yo planteé un teorema de campos virtuales que está escrito en el libro, pero no lo publiqué por separado, por lo que casi nadie lo ha visto ni oído, ya que no se publicó en ninguna revista en inglés de ámbito internacional. Estaba ya tan liado en Marconi y con la Junta de Energía Nuclear que estos trabajos de naturaleza más científica no llegué a hacerlos públicos, lo que hoy me produce frustración.”

Añade una evaluación de los años 1960, los de la liberalización económica y el desarrollismo. “Los años 60 yo creo que han sido los del despegue científico y económico de España”. Los que entonces éramos estudiantes los vivimos también muy intensamente, para nosotros era un futuro que se abría. Nuevas posibilidades en un país que se abría a la modernidad. Nuestro hombre pertenece a los que abrieron la vía.

“A mi me pusieron un dilema: mientras era ingeniero jefe de Marconi, si me dejaban ser catedrático, y llevaba las dos cátedras, la de Electrónica y la de Energía Nuclear, y monté laboratorios en la Escuela en un tiempo que era difícilísimo. En los años cuarenta y tantos, en España no había divisas y a través de Marconi Wireless conseguí unos precios especiales. Y Benito Delgado, que era un fabricante, pagó algunos aparatos para la Escuela. Y luego cuando ascendí a Director General, ya me pusieron la alternativa de que tenía que escoger una cosa u otra. Y me quedé en Marconi, en un momento de enorme desarrollo. Cuando yo llegue a Marconi eran unos cien empleados y cuando yo me fui, en el año 64-65, eran 5500”.

Acaba con un dictamen sobre el difícil futuro de la energía en nuestra sociedad, que le sirve para reafirmarse en su temprana apuesta por lo nuclear. “Ahora asistimos a un relanzamiento de la energía nuclear. No hay más remedio.”

La brisa primaveral madrileña, que me encuentro al salir de su casa, parece traerme los ecos de otra época en la que se incubó la actual, aunque resulte tan incomparable con ella.

Javier Aracil
Escuela Superior de Ingenieros.
Universidad de Sevilla
aracil@esi.us.es