

Introducción a la industria 4.0: guía docente y aplicación práctica de encoders en la enseñanza

Boronat-Moll, Carles^a, Hervas-Oliver, Jose Luis^b, Dahoi-Obon, Jose Mariano^c, Santolaria-Orrios, Emiliano^d

^aUniversitat de València, carles.boronat@uv.es, ^bUniversitat Politècnica de València, jose.hervas@omp.upv.es, ^cItaca, jodaob@itaca.upv.es, ^dIES Eduardo Merello, esantolaria@iesemerello.com

Resumen

El posicionamiento preciso en la industria requiere de soluciones de situación de objetos y elementos precisas y flexibles que vayan más allá de la sensorica binaria. La falta de material didáctico adecuado es una barrera para la utilización de soluciones más avanzadas como los encoders que permiten la colocación en un punto con una gran sensibilidad. Un encoder no es más que un sensor digital de alta precisión que acoplado a un eje rotatorio es capaz de transmitir su posición angular a dígitos.

El uso del encoder constituye una buena herramienta de entrada para los alumnos a este campo de conocimiento por su versatilidad y facilidad de utilización. Además en este artículo se ilustra su utilización en un proyecto mecatrónico, aplicando la filosofía de aprender haciendo y trabajar en equipo, lo cual ayuda a producir un aprendizaje significativo, dado que los conocimientos se aplican a un entorno “real”.

Palabras clave: *encoder, guía, calidad, aprender haciendo, aprendizaje significativo, mecatrónica.*

Introducción

El posicionamiento de diferentes elementos móviles en los proyectos mecatrónicos se realiza habitualmente mediante entradas binarias: finales de carrera, sensores inductivos, capacitivos, reed, etc. La utilización de encoders genera un posicionamiento más preciso, a la par que disminuye el número de sensores, reduciendo el cableado y generando menos de problemas de mantenimiento.

Para producir con calidad se necesita precisión de otra forma, es imposible producir piezas con tolerancias acotadas y/o respetar las especificaciones. Así los encoders se encuentran en

multitud de aplicaciones industriales (Control numérico por ejemplo) (Holzknecht, 2012). De hecho, son la base de los servomotores (un servomotor básicamente es el encapsulado de un encóder y un motor paso a paso) y los servomotores son indispensables en la robótica y la robótica necesaria para la industria 4.0 (Martinova & Martinov, 2018).

Los ciclos formativos de grado superior según el Marco de enseñanzas de la Unión Europea se encuentran comprendidos dentro de la educación superior (Ministerio de Educación, 2021). Este módulo formativo se desarrolla a lo largo de dos años (Conselleria Educació, 2021). En el segundo curso, en el IES Eduardo Merello, se realiza entre diversos módulos (Configuración de Sistemas Mecatrónicos, Integración de Sistemas Mecatrónicos, Simulación de Sistemas mecatrónicos y Procesos y gestión del mantenimiento y calidad) un proyecto grupal mecatrónico. Principalmente se utiliza el módulo de Configuración de Sistemas mecatrónicos para realizar el proyecto. En el segundo trimestre los otros módulos, además de continuar terminando su contenido teórico suelen colaborar en la finalización del proyecto, ya sea en la maqueta o en la memoria.

Dicho proyecto ya ha sido objeto de estudio en otro artículo (Boronat-Moll and Dahoui Obon, 2020). Aquí nos centramos en añadir un nuevo elemento a este proyecto grupal, siguiendo la misma metodología de trabajo en proyectos (aprendizaje grupal y por descubrimiento teniendo al profesor como guía (Blumenfeld et al., 1991)) y de aprender haciendo (*learning by doing*), teniendo en cuenta que la puesta en práctica de un conocimiento por parte del alumno mejora el aprendizaje significativo (Caine and Caine, 2006).

Objetivos

Los objetivos del siguiente artículo son:

- 1.- Describir el funcionamiento de un encóder, su programación y cableado, desarrollando una guía en detalle que facilite su utilización.
- 2.- Integrarlo en un proyecto real de los alumnos: los alumnos a lo largo del segundo curso desarrollan un proyecto grupal, se espera que los alumnos elijan cuando proceda este dispositivo de posicionamiento frente a otros, cuando sea conveniente.

Desarrollo de la innovación

3.1.- Descripción de la programación del encóder en el autómatas Siemens S7-1200.

El autómatas utilizado en el proyecto mecatrónico grupal es el Siemens S7-1200, un autómatas relativamente barato, pero suficientemente flexible y potente para el propósito deseado. Se va a utilizar el entorno de programación TIA-Portal, este software se utiliza para programar tanto la serie 1200, como la 1500, 300 y 400, cubriendo un extenso número de aplicaciones.

TIA-Portal no hace referencia a los encóders, sino que hay que habilitar los contadores rápidos. Con un contador rápido, el autómeta S7-1200 será capaz de contar los eventos que ocurren con una frecuencia mayor que la del ciclo de programa. Antes de poder utilizar en el proyecto un contador rápido, es necesario configurar el autómeta para indicar su utilización. A continuación veremos **cómo configurar un contador rápido** en TIA Portal. Hay que seguir estos pasos (se supone que previamente se ha creado un proyecto y se ha añadido un autómeta al mismo): en **propiedades del autómeta** (para que aparezca hay que hacer click con el botón derecho del ratón sobre el autómeta), hay que hacer click en “**Contadores rápidos (HSC)**”, como se observa en la figura siguiente. El autómeta S7-1214 v2.1 dispone de un total de 6 contadores rápidos (de HSC1 a HSC6).

A continuación seleccionamos el contador **HSC1** y lo activamos (“**Activar este contador rápido**”), ya que para utilizar un contador rápido se tiene que activar previamente.

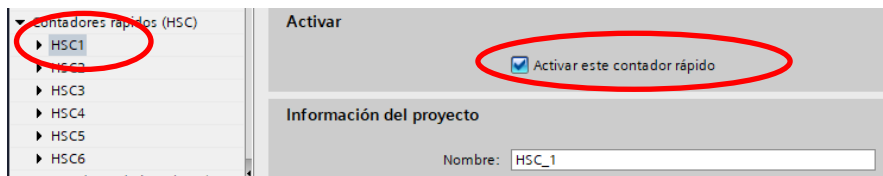


Fig. 1: Contador rápido HSC1

En la opción "**Modo de contaje**" seleccionamos "**Contaje**", ya que vamos a contar los pulsos generados por el encóder para saber la posición angular del eje de un motor.

En la opción "**Fase servicio**" seleccionaremos el **tipo de contador**, en función del tipo de encóder del que se dispone. Como disponemos de un encóder incremental de 2 canales (A y B), seleccionaremos "Contador A/B", tal y como se muestra en la figura siguiente.

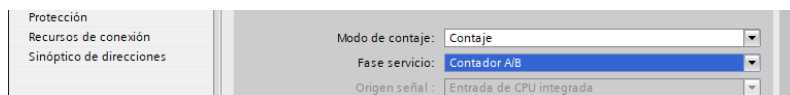


Fig. 2. Fase de servicio del contador

Para el resto de opciones **dejaremos los valores que aparecen por defecto**. A continuación se describen algunas de estas opciones y el su significado:

- Como se puede observar en la opción "**Entradas de hardware**", si se ha seleccionado como fase de servicio "Contador A/B", las entradas de contaje para el contador HSC1 serán I0.0 y I0.1 para los canales A y B, respectivamente. Eso quiere decir que tenemos que conectar la salida del canal A del encóder a la entrada I0.0 del autómeta, y la salida del canal B a la entrada I0.1, de tal forma que estas dos entradas del autómeta (I0.0 e I0.1) no podrán utilizarse para otras funciones.

- En la opción "**Direcciones de entrada**", se definen las direcciones de memoria ID1000, que es donde el contador rápido almacena su valor de conteo. Este valor ocupa 4 bytes (desde la dirección ID1000 hasta la ID1003).

Para que la configuración del contador rápido tenga efecto en el autómat, la cargaremos utilizando la opción de cargar hardware y software.

3.2.- Elección, cableado y programación del encóder.

Vamos a utilizar dos encóders Telemecanique XCC-1406PR03K, uno para el eje X y otro para el eje Y. La elección de este encóder se basa en su disponibilidad, calidad y precio relativamente ajustado (187 euros IVA incluido, año 2021). El único inconveniente podría ser que no tiene entrada Z para contar vueltas, pero creemos que es no es necesario para las aplicaciones deseadas.



Fig. 3. Foto del encóder XCC-1406PR03K

El resumen de los cables a conectar es el siguiente:

Tabla1: cableado del encóder.

BN	RD	VT	BU	YE	OG	GN	BK
\bar{A}	+V	0	$\bar{0}$	B	\bar{B}	A	0V
BROWN	RED	VIOLET	BLUE	YELLOW	ORANGE	GREEN	BLACK

Fuente: Elaboración propia a partir de la figura 3.

Dado que las entradas de los contadores rápidos 1 y 2 coinciden, seleccionamos los contadores rápidos 1 y 3 del TIA-Portal.

Tabla 2. Entradas del autómat de los contadores rápidos utilizados.

Encóder Eje X	XA	I0.0	HSC 1
	XB	I0.1	
	XReset	I.03	
Encóder Eje Y	YA	I0.4	HSC 3
	YB	I0.5	
	YReset	I0.7	

Fuente: Elaboración propia.

Solo necesitaremos cablear para el primer encóder: GREEN que se conectará en I0.0, YELLOW en I0.1, la entrada del final de carrera que queramos que haga el reset (puesta a cero) se cableará en I0.3.

También tenemos que alimentar el encóder, así BLACK irá conectado a neutro (0V) y RED a 24V. El resto de cables tienen que estar aislados entre ellos y no hace falta cablearlos. Para seleccionar el **reset** tenemos que activar la función: “**Utilizar entrada de reset externa**”

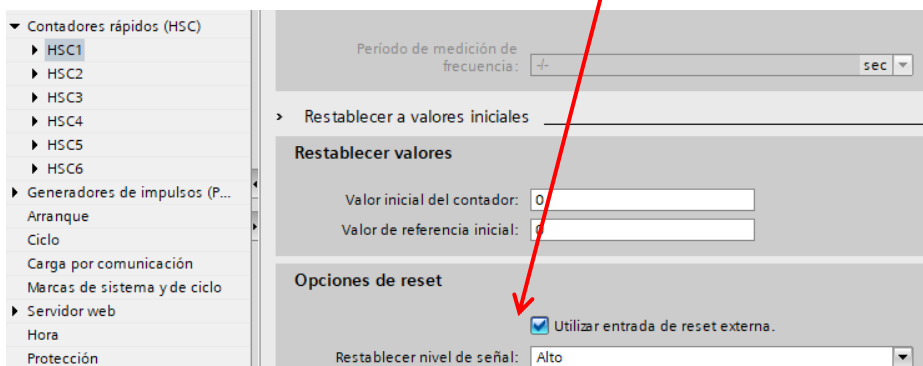


Fig. 4. Entada de reset externo del Contador rápido.

A continuación veremos a que entradas hace referencia:

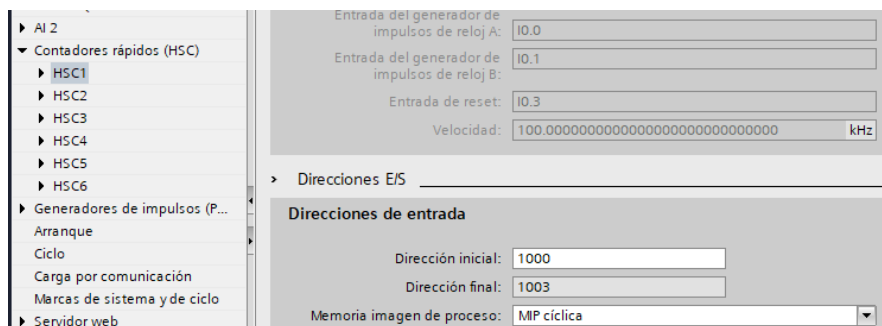


Fig. 5. Direcciones de memoria del HSC1..

Entradas I0.0, I0.1 e I0.3 son asignadas al primer contador rápido HSC1. Este contador (HSC1) utiliza las direcciones de memoria ID1000 hasta la ID1003. Las entradas para el HSC 3 (eje Y) son: I0.4, I0.5 y I0.7 para realizar el reset. Las direcciones de memoria son ID1008, ID1009, ID10010 y ID1011.

Las direcciones de entrada a utilizar ahora son: I0.4, I0.5 y I0.7 para realizar el reset. Las direcciones de memoria son ID1008, ID1009, ID10010 y ID1011.

Vamos a realizar un grafcet de ejemplo para a un eje, por ejemple el eje X:

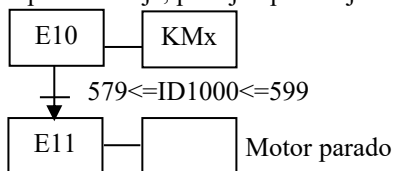


Fig 6. Graficet de ejemplo.

En la etapa 10 ponemos en marcha el motor KM en la dirección X y sentido positivo, a través de la salida del autómeta que acciona su contactor, una vez se valide la condición de transición, pasaría a la etapa 11 y se pararía el motor. La precisión que nos permite la comparación es suficiente; si se optara por una precisión absoluta habría que saltarse el ciclo de scan del autómeta, lo cual se puede hacer con alarmas pero complica la programación y no es necesario para la aplicación a los proyectos del ciclo.

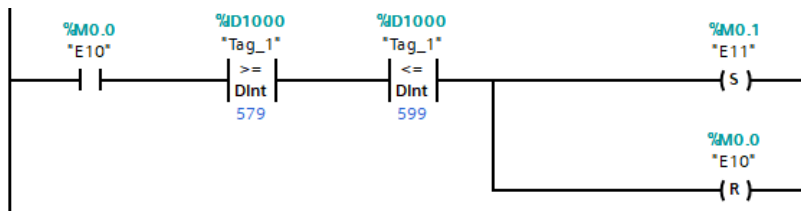


Fig. 7. Programa de ejemplo.

Resultados

Los encóders se integraron en tres de los cuatro proyectos grupales, vamos a describir como funcionaron (en las imagenes se destaca con un círculo rojo el encóder):

- Lavadero: los coches descendían por un ascensor, la bajada era controlada por el encóder. Aunque en la parte final se hubiera podido optar por un sensor de algún tipo, la falta de espacio para su colocación, hizo que el encóder fuera la solución propuesta.



Fig. 8. Proyecto grupal Lavadero de coches.

- Planta de reciclaje de materiales: separa tres tipos de materiales (hierro, aluminio o madera). Cuando uno de los contenedores se llena se para la cinta y viene el puente

a recoger la caja (controlado por el encóder). Una vez recogida la caja, a través del otro encóder, se sitúa en la posición deseada.

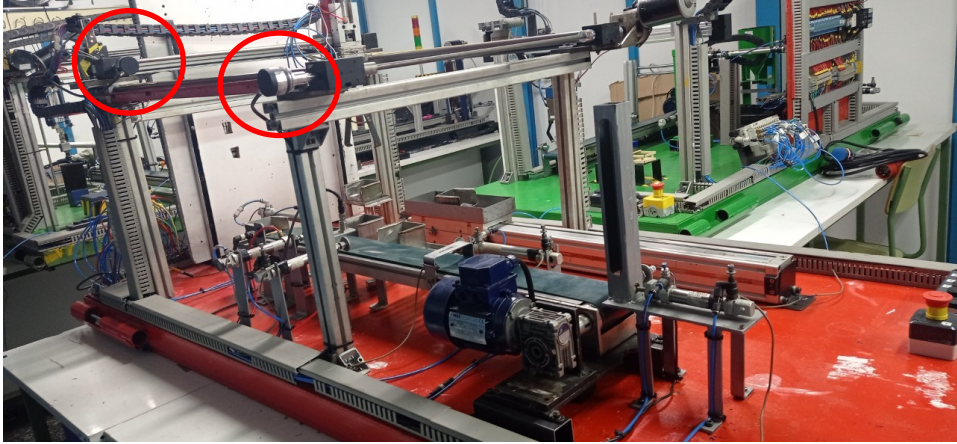


Fig. 9. Planta de reciclaje de materiales.

- Planta de envasado: se llenan unos botes con dos líquidos, después se tapan, al llegar al final de una cinta transportadora un puente los recoge y los sitúa a través del encóder en un punto de descarga.

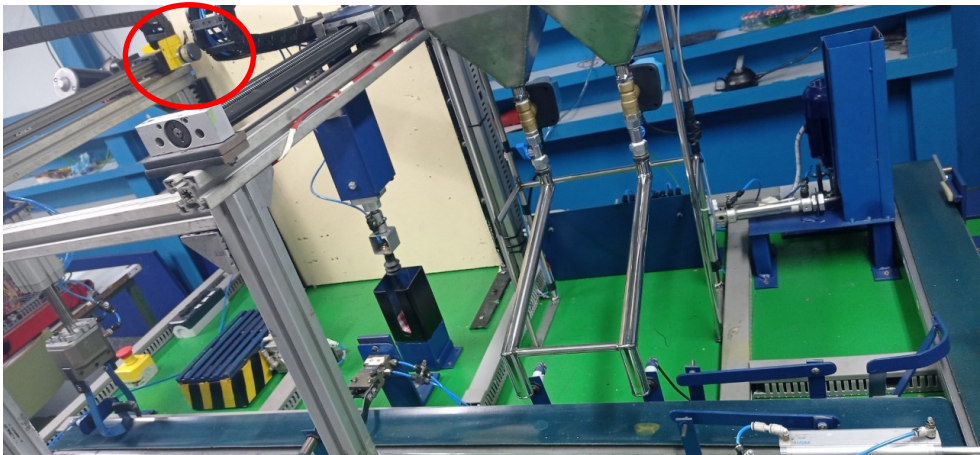


Fig. 10. Planta de envasado.

Los resultados de aprendizaje son múltiples y derivados tanto del trabajo en equipo como de la aplicación de conocimientos en un proyecto complejo, a destacar:

- Coordinación y planificación de tareas
- Redacción de documentación técnica compleja
- Empleo de elementos mecatrónicos adecuados para una función dada.

- Ajuste y sincronización tanto de elementos como a nivel de funcionamiento.

Conclusiones

La elaboración de material didáctico efectivo para poder configurar y utilizar elementos a priori complejos, hace que los alumnos opten por incluir dichos elementos en sus proyectos grupales. La experiencia positiva nos lleva a plantearnos la introducción de otros elementos de posicionamiento preciso (por ejemplo servomotores).

La posibilidad del trabajo en proyectos y de poner en práctica lo aprendido, pudiendo aplicar los conocimientos adquiridos y viendo como funcionan en la realidad estos conceptos, resulta altamente motivadora para los alumnos que son capaces de venir incluso fuera de las horas que les correspondería para terminar sus proyectos.

Referencias

- Blumenfeld, P.C., Soloway, E., Marx, R.W., Krajcik, J.S., Guzdial, M., Palincsar, A., (1991). Motivating Project-Based Learning: Sustaining the Doing, Supporting the Learning. *Educational Psychologist*. Vol. 26, 369–398. <https://doi.org/10.1080/00461520.1991.9653139>
- Boronat-Moll, C., Dahoui-Obon, J.M., (2020). Proyecto integrador grupal como herramienta de docencia y aprendizaje en Mecatrónica”, in: Libro de Actas *IN-RED 2020: VI Congreso de Innovación Educativa y Docencia En Red*. Universitat Politècnica de València, Valencia, pp. 1118–1131. <https://doi.org/10.4995/INRED2020.2020.11985>
- Caine, G., Caine, R.N. (2006). Meaningful Learning and the Executive Functions of the Brain en Ross-Gordon, J.M y Coryell, J.E. *New Directions for Adults and Continous Education*, Wiley Online Library, vol. 2006, Issue 110, 53–61. <https://doi.org/10.1002/acc.219> Wiley Online Library
- Conselleria d'Educació (2021). Familia professional : instal·lació i manteniment, cicle formatiu: mecatrònica industrial. http://www.ceice.gva.es/documents/161863064/162743989/mspmecloe3h_val.pdf/88ecc96b-b85c-45ff-9796-51f329c4d9d7 [Consulta: 18 de marzo de 2021]
- Holzknicht, A. (2012). ENCODERS, DECODED. *Quality*, 51(4), 26-28. Retrieved from <https://www.proquest.com/scholarly-journals/encoders-decoded/docview/1009905139/se-2?accountid=14777>
- Martinova, L. I., & Martinov, G. M. (2018, August). Automation of machine-building production according to industry 4.0. In 2018 3rd Russian-Pacific Conference on Computer Technology and Applications (RPC) (pp. 1-4). IEEE.
- Ministerio de Educación (2021). Sistema educativo en España - Marco Español de Cualificaciones | Ministerio de Educación y Formación Profesional <https://www.educacionyfp.gob.es/mc/mecu/aprendizaje/cualificaciones/obtenidas-en-el-sistema-educativo/sistema-educativo-espanol.html> [Consulta: 18 de marzo de 2021]