

---

# Caso de uso: monitorización de la temperatura de un rotor mediante el uso de RFID pasivo (sin batería)

---

PID\_00247334

Joan Melià Seguí

---

Tiempo mínimo de dedicación recomendado: 2 horas

---



Universitat  
Oberta  
de Catalunya

---

*Ninguna parte de esta publicación, incluido el diseño general y la cubierta, puede ser copiada, reproducida, almacenada o transmitida de ninguna forma, ni por ningún medio, sea éste eléctrico, químico, mecánico, óptico, grabación, fotocopia, o cualquier otro, sin la previa autorización escrita de los titulares del copyright.*

# Índice

<b>Introducción</b> .....	5
<b>1. La problemática</b> .....	7
<b>2. RFID pasivo con sensores como solución</b> .....	9
2.1. La tecnología RFID.....	9
2.2. RFID pasivo .....	10
2.3. El estándar EPC class 1 gen 2 .....	11
2.4. Sensores en <i>tags</i> RFID pasivos .....	14
2.5. Monitorización de temperatura mediante <i>tags</i> RFID pasivos con sensores .....	14
<b>Conclusiones y lecciones aprendidas</b> .....	17
<b>Bibliografía</b> .....	18



## Introducción

En este caso de uso, presentamos una solución creada por la empresa Farsens\* para la transmisión inalámbrica de las medidas de temperatura del rotor de un motor en producción, mediante el uso de sensores e identificación por radiofrecuencia (RFID) pasiva.

\* Web: <http://www.farsens.com>

Los sistemas ciberfísicos son un elemento clave dentro de la industria 4.0, ya que permiten la integración de los procesos de fabricación y la dimensión digital mediante sistemas embebidos y el intercambio de datos mediante las tecnologías de comunicación.

En la actualidad, la industria puede proveerse de sistemas ciberfísicos sin necesidad de cambiar la infraestructura de producción (máquinas, motores, etc.), sino que puede añadir elementos de monitorización junto con tecnologías de comunicación para trasladar la información relacionada con el proceso productivo a la dimensión digital.

Existe un gran abanico de tecnologías de comunicación que pueden ser utilizadas en el contexto de los sistemas ciberfísicos, y serán los requisitos y el escenario concreto quienes definirán la idoneidad de una u otra tecnología de comunicación.

A partir de la clasificación básica entre tecnologías de comunicación cableadas e inalámbricas, la solución pasará por elegir la tecnología que cumpla con los requisitos que den respuesta a los diferentes criterios o necesidades, como por ejemplo:

- **Rango de comunicación:** la distancia máxima entre emisor y receptor.
- **Velocidad de transmisión de datos:** la cantidad de bits por segundo que emisor y receptor son capaces de intercambiar. En este punto, también es relevante la cantidad de dispositivos que pueden operar simultáneamente en una misma ubicación.
- **Alimentación:** potencia necesaria para permitir el funcionamiento del sistema de comunicación. En los casos en los que los dispositivos se alimenten mediante baterías, el parámetro más importante pasa a ser la duración estimada de la batería.
- **Coste económico:** coste económico de los dispositivos, así como del servicio. Por ejemplo, la cuota de línea de telefonía móvil (véase el material «Comunicaciones celulares»), o de una suscripción SigFox (véase el material «Comunicaciones LPWA»).
- Etc.

Un ejemplo concreto de escenario con requisitos y necesidades muy específicas es el de la monitorización de funcionamiento del componente móvil de un motor o generador: el rotor.

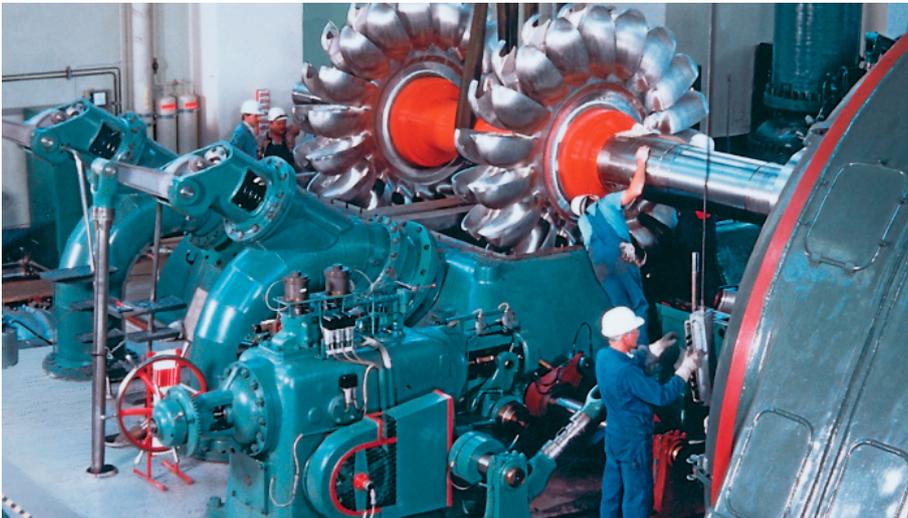
## 1. La problemática

Los rotores son elementos básicos en la industria, ya que forman parte de motores y generadores (véase figura 1). A su vez, los motores representan más del 80 % de consumo de energía en la industria.

El exceso de temperatura es uno de los principales motivos de avería en motores. Sobrecarga, falta de mantenimiento, interrupciones o motivos ambientales son solo algunos de los motivos que pueden provocar el aumento de temperatura en un motor. Por ejemplo, el aumento de temperatura en el aislante de un rotor puede reducir la vida útil del motor. En concreto, el aumento de 10 grados por encima del límite puede reducir la vida útil de un motor a la mitad.

El problema afecta por igual a las diferentes clases de motores y generadores, por ejemplo los eléctricos de inducción, o magnéticos perpetuos. En los dos casos, una solución habitual es sobredimensionar el diseño para minimizar el riesgo y garantizar una larga vida del motor, aunque se trate de una solución ineficiente y evite la posibilidad de poder monitorizar las condiciones de funcionamiento de forma adecuada.

Figura 1. Ejemplo de generador hidroeléctrico



Fuente: <http://www.farsens.com>

El mantenimiento de motores eléctricos se basa generalmente en mediciones o métodos indirectos:

- La medición de temperatura del estátor para inferir la temperatura del rotor.
- Algoritmos complejos para aproximar la temperatura real.

Si se desea tomar la medida de temperatura real del motor, se debe hacer en la superficie del rotor, de modo que los sensores tienen que ser inalámbricos (debido al movimiento intrínseco del motor) para evitar soluciones mucho más complejas que impliquen la transmisión de la información a través del eje del motor.

Monitorizar la temperatura mediante sensores inalámbricos no resulta un problema en la fase de pruebas. Esta técnica se usa generalmente para certificar que el funcionamiento se ajusta a las especificaciones del producto. Se trata de una solución rápida y sencilla en la fase de pruebas, en la que la vida de la batería no representa un problema.

En cambio, para pruebas de larga duración, o en producción, las soluciones inalámbricas estándar no resultan óptimas. La necesidad de detener el motor para reemplazar las baterías de los sensores puede suponer un problema logístico y de productividad.

## 2. RFID pasivo con sensores como solución

Una posible solución es obtener la temperatura mediante medidas indirectas aproximadas, por ejemplo, por medio del análisis de ondas infrarrojas, o midiendo la temperatura en los elementos estáticos del motor, como por ejemplo el estátor. Estas metodologías tienen el inconveniente de llevar a cabo medidas aproximadas. Además, al tratarse de un elemento móvil (rotor), resulta extremadamente difícil monitorizar puntos concretos.

La solución que propone la empresa Farsens consiste en el uso de RFID pasivo junto con sensores de temperatura. En los siguientes apartados, se introduce la tecnología RFID, y en especial la tecnología RFID pasiva con sensores. Se finaliza con una descripción de la solución propuesta por la empresa Farsens.

### 2.1. La tecnología RFID

La RFID es un método de identificación automática para obtener información de forma inalámbrica. Al contrario que otros métodos de identificación como el código de barras, RFID puede identificar varios objetos simultáneamente y sin necesidad de visión directa.

Un sistema RFID se compone de *tags*, lector y sistema de información:

- **Tags:** se componen principalmente de dos elementos: un circuito integrado y una antena. El circuito integrado es clave, ya que se encarga de procesar y almacenar la información, modular y demodular la señal de radiofrecuencia para hacer posible la comunicación, y obtener energía a partir de la señal emitida por el lector. La antena se encarga de transmitir y recibir la información, además de facilitar la recogida de energía para el funcionamiento del *tag*. Los *tags* pueden ser de solo lectura, o lectura y escritura. La información se almacena en una memoria no volátil.
- **Lector:** dispone de una o varias antenas, y es el dispositivo que se encarga de la comunicación con los *tags*. El lector RFID transmite una señal de radiofrecuencia codificada para interrogar los *tags*, que responderán con su identificación, y de forma opcional con cualquier otra información que esté almacenada en el *tag*. En función del tipo de *tags* (véase la siguiente lista, en la que se clasifican los *tags* entre activos, semipasivos y pasivos), el dispositivo encargado de iniciar la comunicación será el *tag* o el lector.

- **Sistema de información:** es el encargado de la gestión del lector y de la información que este genera. Una vez que el lector dispone de la información de los *tags* en su rango de lectura, la información se puede almacenar o enviar a otros dispositivos.

Una de los criterios de clasificación de los sistemas RFID es el método utilizado para proporcionar energía a los *tags*:

- **RFID activo:** en un sistema RFID activo, los *tags* disponen de una batería que les proporciona la energía necesaria para llevar a cabo las diferentes operaciones, principalmente: comunicación, procesado de datos y alimentación de elementos externos como sensores. Los *tags* RFID activos ofrecen el mayor rango de comunicación entre las diferentes categorías de RFID.
- **RFID semipasivo:** También conocidos como *battery-assisted passive (BAP)*, se activan a partir de la presencia de un equipo lector, y utilizan su energía para las tareas de comunicación. Además, incorporan una batería para alimentar el resto de las funcionalidades, como el procesado de datos o la alimentación de sensores.
- **RFID pasivo:** son los *tags* más sencillos y económicos porque no disponen de batería. Los *tags* pasivos utilizan la energía proporcionada por el lector, en forma de ondas de radiofrecuencia, para operar y transmitir su información.

Finalmente, la tabla 1 clasifica de forma resumida diferentes sistemas RFID en función de su banda de radiofrecuencia.

Tabla 1. Clasificación de los sistemas RFID en función de las frecuencias de uso

Banda	Rango aprox.	Ejemplos	Funcionamiento
120-150 kHz ( <i>low frequency</i> )	10 cm	Identificación de animales	Pasivo
13.56 MHz ( <i>high frequency</i> )	10 cm - 1 m	Autenticación ( <i>smart cards</i> ), pasaporte electrónico, NFC, pago <i>contactless</i>	Semipasivo, pasivo
433 MHz ( <i>ultra high frequency</i> )	1 - 100 m	Aplicaciones con muchos nodos, por ejemplo medidas de sensores ( <i>tags</i> activos).	Activo
865-868 MHz (Europa) 902-928 MHz (Norteamérica)	1 - 12 m	EPC class 1 gen 2, estándar <i>de facto</i> en logística	Pasivo
2.4-5.8 GHz (Microondas)	1 - 100 m	Pago automático en autopistas	Activo

## 2.2. RFID pasivo

El funcionamiento habitual de un sistema RFID pasivo se basa en el protocolo *interrogator talks first*, en el que el equipo lector es el encargado de iniciar la comunicación, a la que responden los *tags*. Aunque la comunicación es bidireccional, el objetivo de un sistema RFID pasivo es obtener la información de los *tags*. De todos modos, tam-

bién se puede modificar el contenido de los *tags* mediante un comando especial de escritura.

Como se ha mencionado anteriormente, los *tags* RFID pasivos no disponen de batería. El *tag* (antena más circuito integrado) se alimenta a partir de la señal emitida por las antenas del equipo lector, y transmite la información (identificación u otros datos almacenados en la memoria del *tag*) mediante *backscattering*, es decir, modulando la señal del lector producida por cambios en la impedancia debido al acoplamiento entre las antenas de lector y *tag*. En función de la banda utilizada, el rango de lectura varía entre unos pocos centímetros y la decena de metros. Dentro de RFID pasivo, se incluyen entre otras las tecnologías *near field communication* (NFC) o la EPC class 1 gen 2.

### 2.3. El estándar EPC class 1 gen 2

La tecnología *electronic product code* (EPC) fue creada a principios de siglo en el Massachusetts Institute of Technology Auto-ID Center. Se trata de un estándar global para el uso industrial de RFID, y es uno de los elementos principales de la EPC-global Network, una arquitectura de estándares abiertos desarrollada por GS1. En la actualidad, la interfaz de comunicación RFID de la tecnología EPC class 1 gen 2 es compatible con el estándar ISO/IEC 18000-6C.

EPC class 1 gen 2 se considera una tecnología RFID de bajo coste [EPC (2013)]. El objetivo de su diseño es poder etiquetar e identificar de manera automatizada cualquier objeto en un ámbito individual. Para cumplir con este objetivo, los *tags* deben ser muy económicos y, por tanto, necesariamente simples en su diseño. Por consiguiente, además de ausencia de batería, el circuito integrado solo ejecuta un conjunto predefinido de acciones.

La comunicación entre *tag* y lector se lleva a cabo en tres etapas: *selección*, *inventariado* y *acceso* (véase figura 3). Los comandos específicos para la ejecución de cada una de las etapas pueden consultarse en [EPC (2013)].

- **Selección:** en esta etapa, el lector selecciona el conjunto (o un subconjunto) de los *tags* en el rango de lectura, y los deja activados para entrar en la ronda de inventariado.
- **Inventariado:** una ronda de inventariado (véase figura 2) se inicia por parte del lector mediante el envío de una serie de comandos de consulta. En el rango de lectura del lector puede haber centenares de *tags*, por lo que es necesario un protocolo de control de acceso al medio para reducir las colisiones. Cada *tag* genera un valor aleatorio entre cero y un valor máximo (definido a partir de la configuración). Cada comando de consulta emitido por el lector decrementa el número aleatorio del *tag*, y al llegar a cero se lo comunica al lector. Si el lector recibe una única respuesta, pedirá la identificación completa del *tag* (generalmente, 96 bits del código EPC)

y, en caso satisfactorio, confirmará su recepción. En cambio, si dos o más *tags* alcanzan el cero simultáneamente, el lector detectará la colisión, y los *tags* tendrán que esperar a la siguiente ronda de inventariado. Este protocolo de control de acceso entra en la categoría de *slotted-ALOHA*.

- **Acceso:** si un *tag* ha finalizado el inventariado satisfactoriamente (ha transmitido los 96 bits de su código EPC, y ha recibido confirmación por parte del lector), puede entrar en la fase de acceso, en la que el lector puede leer o modificar las diferentes áreas de la memoria del *tag*. El acceso puede estar protegido mediante una contraseña de acceso de 32 bits. En esta fase, el lector podría detener el funcionamiento del *tag* de forma permanente mediante la contraseña *kill* de 32 bits.

Las etapas de *selección e inventariado* son necesarias para identificar uno o varios *tags* (en condiciones normales, es posible inventariar en torno a 100 *tags* por segundo). La etapa de *acceso* se lleva a cabo de forma individual sobre cada *tag*, y por tanto requiere un mayor tiempo que el simple inventariado.

Figura 2. Diagrama de la comunicación entre lector y *tag* para la identificación

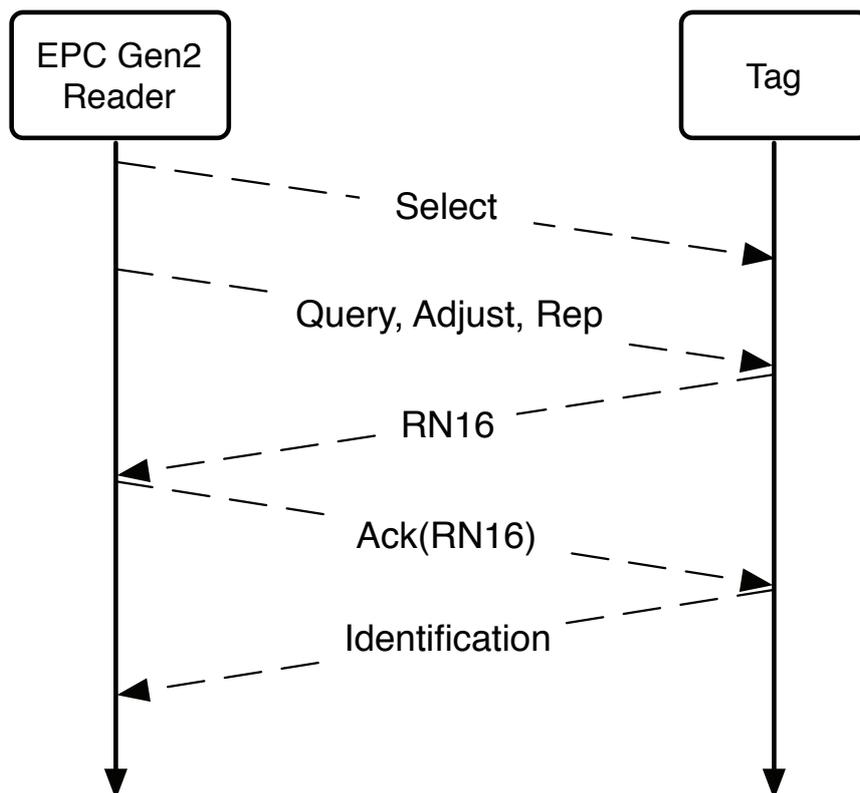
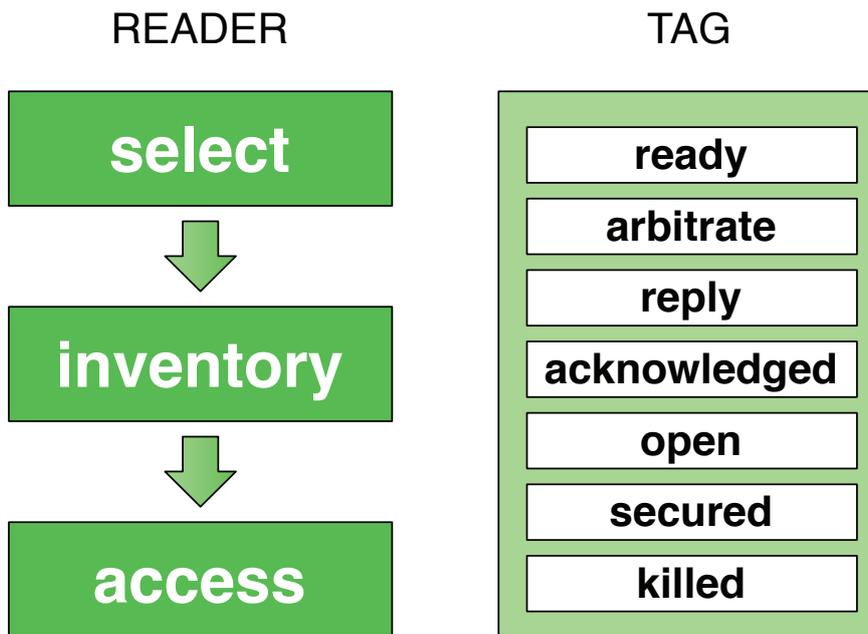


Figura 3. Diagrama de las diferentes etapas en lector y *tags*

Fuente: EPCGlobal [EPC (2013)].

La memoria de un *tag* de tipo EPC class 1 gen 2 se divide en cuatro áreas:

- **Reservada:** zona de la memoria que almacena las contraseñas de acceso y *kill*. En caso de no estar activadas, el valor de la memoria en esta área será cero.
- **EPC:** contiene, además de los 96 bits de identificación, un conjunto de bits de control y un CRC de detección de errores.
- **TID:** contiene información estandarizada sobre el fabricante y versión del estándar.
- **Usuario:** área opcional de memoria. Al no quedar definida en el estándar, el fabricante puede decidir si implementarla y con qué tamaño. Puede servir para almacenar cualquier información dentro del tamaño permitido.

Es importante especificar que el proceso de escritura de nuevos datos en la memoria de un *tag* RFID tipo EPC class 1 gen 2 requiere más potencia que el proceso de lectura, además de necesitar más tiempo (para la misma cantidad de información). Por este motivo, el rango de escritura será mucho menor, para así poder recibir mayor potencia de señal por parte del lector [EPC (2013)].

## 2.4. Sensores en *tags* RFID pasivos

Como se ha visto en el PLA 2 «Sensores y adquisición de datos», un sensor es un dispositivo capaz de convertir la variación de una magnitud física en una señal eléctrica que puede ser adquirida y procesada por un dispositivo electrónico. Por ejemplo, un sensor de temperatura puede transformar una variación de temperatura en una variación de resistencia de un conductor, la cual puede adquirirse y acondicionarse en una cadena de medida, y convertirse al dominio digital mediante un convertidor analógico-digital.

Para su correcto funcionamiento, el sensor tiene que recibir energía para llevar a cabo la lectura de la magnitud física en cuestión, acondicionarla y transmitirla a una memoria o a otro dispositivo. Una forma habitual de proporcionar esta energía es mediante una batería, o una fuente de alimentación que suministra energía al sensor a través de cable. Un modo alternativo de proporcionar energía a un sensor es mediante la generación de un campo eléctrico (o magnético), que el sensor pueda aprovechar para capturar la energía necesaria para su funcionamiento (por ejemplo, mediante una antena). Este método, conocido como *sensores sin batería* (en inglés, *battery-free sensors*), permite alimentar el sensor, pero generalmente no es suficiente para transmitir la lectura a otro dispositivo. Este problema se soluciona con los sensores integrados en *tags* RFID pasivos.

Los *tags* RFID tipo EPC gen 2 pueden incorporar sensores de luz, presión, temperatura, humedad y aceleración, entre otros. Los *tags* RFID pasivos con sensores tienen la limitación principal de una reducción del rango de lectura, en comparación con los *tags* RFID pasivos convencionales. Esto se debe al hecho de que el *tag* tiene que recibir suficiente potencia para alimentar el circuito integrado del *tag* y el sensor, y permitir la escritura de los valores del sensor en la memoria del *tag*. El valor mínimo de potencia que permite el funcionamiento del *tag* se denomina «sensibilidad», y en el caso de un *tag* RFID pasivo con sensor, será la mínima entre los siguientes factores:

- Sensibilidad de lectura del *tag*.
- Sensibilidad de lectura del sensor.
- Sensibilidad de escritura del *tag*.

Además de un rango menor de lectura, el *tag* necesitará un tiempo mayor de lectura para permitir la escritura en la memoria del *tag* de los valores del sensor.

## 2.5. Monitorización de temperatura mediante *tags* RFID pasivos con sensores

La necesidad de monitorizar la temperatura de un elemento móvil como un rotor en producción tiene los siguientes requisitos principales:

- Velocidad de transmisión de datos baja, ya que solo se necesitan unos pocos bytes por segundo para cada uno de los sensores instalados.

- Alimentación permanente para evitar interrupciones en el proceso de producción, debido al recambio de baterías.

Estos requisitos convierten los *tags* RFID pasivos tipo EPC class 1 gen 2 con sensores en los candidatos ideales para este caso de uso. En concreto, el *tag Pyros-0373* [Farsens (2017)] (véase figura 4) puede monitorizar la temperatura de forma indefinida, y evitar interrupciones para la carga o sustitución de baterías, además de que asegura una tasa de transmisión de datos del orden de decenas de kilobits por segundo (muy por encima de las necesidades del sensor).

Figura 4. Tag RFID pasivo Pyros-0373 con sensor de temperatura



Fuente: Farsens [Farsens (2017)].

Funcionamiento en la banda UHF 860MHz-960MHz  
Rango máximo de lectura 2 metros  
Compatible con la especificación EPC class 1 gen 2  
Compatible con la especificación ISO 18000-6 Type C  
96-bit EPC & 32-bit TID  
Rango de medición de temperatura: -25°C to +105°C  
Precisión:  $\pm 0.5^\circ\text{C}$   
Temperatura de funcionamiento: -30°C to +85°C

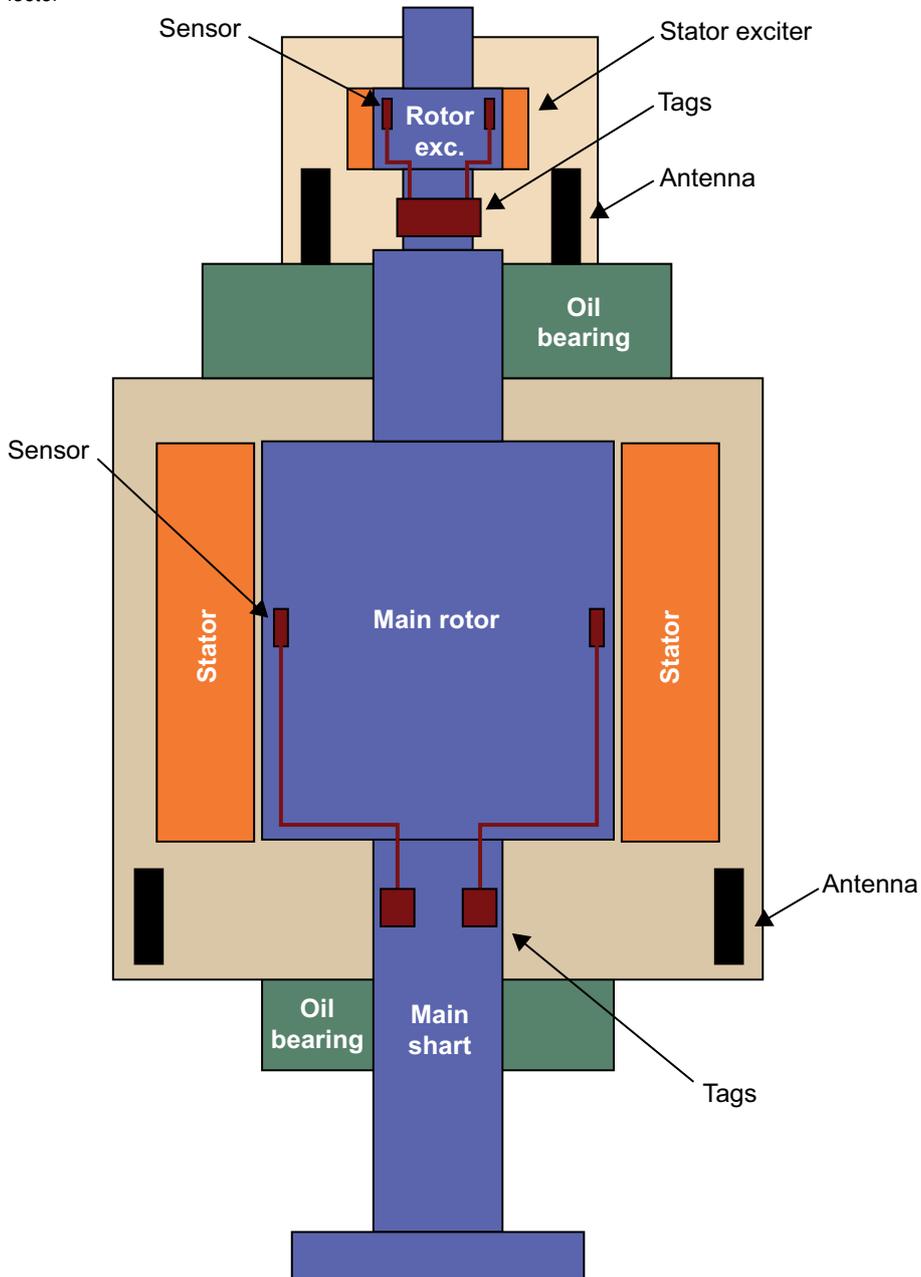
Fuente: Farsens [Farsens (2017)].

Mediante el *tag Pyros* [Farsens (2017)] y un sistema RFID (lector, antenas y sistema de información), la empresa Farsens proporcionó un componente ciberfísico en un escenario que ya estaba en producción anteriormente. Del motor no se podían obtener parámetros de funcionamiento en tiempo real y, por lo tanto, no se podía monitorizar ni llevar a cabo ningún tipo de mantenimiento predictivo.

Distribuyendo sensores por los diferentes puntos de la superficie del rotor, se pudo obtener un mapa térmico de las zonas críticas del rotor en tiempo real. La figura 5 ilustra el funcionamiento del sistema en este caso de uso. Se ubican una serie de sensores para monitorizar la temperatura del rotor, conectados a los *tags* RFID pasivos que se localizan en el eje principal. De este modo, el *tag* se desplaza una distancia menor (debido a que el eje principal tiene un diámetro menor que el rotor), lo que facilita

la transmisión de energía por parte del lector. Para garantizar el aporte constante de energía, se utilizan dos antenas conectadas con un divisor de potencia a los dos lados del eje principal.

Figura 5. Diagrama del motor con la ubicación de los sensores, *tags* RFID y antenas de lector



Fuente: Farsens.

## Conclusiones y lecciones aprendidas

La monitorización del funcionamiento de un rotor en tiempo real, mediante distintos puntos de medición, permite la obtención de información continua sobre el estado del motor en producción. El procesado de esta información ofrece al usuario la posibilidad de llevar a cabo mantenimiento predictivo (tomando decisiones y acciones según las mediciones, como por ejemplo la temperatura), además de establecer un histórico de información sobre cada uno de los elementos monitorizados. Este caso supone un claro ejemplo de sistema ciberfísico, y de aplicación directa para la industria 4.0.

En este caso práctico facilitado por la empresa Farsens, hemos visto la aplicación de RFID pasivo junto con termistores para la medición continua de la temperatura del rotor de un motor. Los *tags* RFID pasivos, al no necesitar batería, permiten el uso continuado sin interrupciones asociadas a la falta de batería.

Con este caso de uso, la empresa Farsens proporciona una solución basada en los sistemas ciberfísicos para prevenir interrupciones imprevistas en un entorno de producción, y alargar la vida útil de motores industriales gracias a las posibilidades que ofrece la combinación de sensores con RFID pasivo.

## Bibliografía

**EPCglobal** (2013). *EPC Radio-Frequency Identity Protocols Generation-2 UHF RFID, Specification for RFID Air Interface, Protocol for Communications at 860 MHz - 960 MHz, Version 2.0.0 Ratied*. EPCglobal.

**Farsens** (2017). «Pyros-0373 Datasheet». Available online at:  
<http://www.farsens.com/en/products/pyros-0373/>.