

2017-  
2018

# PROACTIV

Monitorización de procesos y actividades  
en procesos industriales.

Nº Expte: IMDEEA/2017/124

Programa: PROYECTOS DE I+D EN COOPERACIÓN CON EMPRESAS

## RESULTADOS OBTENIDOS EN LA PRIMERA ANUALIDAD

Realizado por:  
AIDIMME



GENERALITAT  
VALENCIANA

TOTS  
A UNA  
veu

**ivACE**  
INSTITUT VALENCIÀ DE  
COMPETITIVITAT EMPRESARIAL



UNIÓN EUROPEA  
Fondo Europeo de  
Desarrollo Regional

Una manera de hacer Europa



## Indice

1. Introducción ..... **¡Error! Marcador no definido.**
2. Selección de variables de procesos y actividades ..... **¡Error! Marcador no definido.**
3. Diseño de dispositivos ..... 10
4. Conclusiones..... **¡Error! Marcador no definido.**

## 1. Resumen del proyecto

### Necesidad

La evolución de la industria avanza hacia sistemas de control de procesos en tiempo real, ya que de esta forma la capacidad de reacción ante desviaciones de cualquier tipo es mucho mayor, y se evita que se prolonguen en el tiempo situaciones no deseadas.

En un entorno de control de los procesos productivos en tiempo real, la mayor parte de industrias con procesos discretos se enfrentan a dos problemas que actualmente no están resueltos y cuya solución, cuando es posible, implica un coste muy elevado para la empresa:

- Se parte de la base de que la mayor parte del equipamiento productivo no ha sido diseñado para compartir información sobre su funcionamiento con ningún sistema externo. Si el equipo es antiguo, esta posibilidad ni siquiera fue prevista por el fabricante. Si se trata de equipos relativamente modernos, se podría acceder a determinados datos sin muchos problemas técnicos, pero el propio fabricante de la máquina o bien declina toda responsabilidad ante cualquier interferencia con el sistema de control, o bien propone unas modificaciones en el equipo cuyo coste es inasumible para el cliente. Por tanto, el problema a que se enfrenta la empresa es la imposibilidad de obtener datos de proceso sin interferir en el mismo.
- El otro problema reside en la captura automática de datos relativa a la actividad del personal de la planta de fabricación. En este caso, en una planta industrial no existen sistemas adecuados para que las acciones realizadas por el personal queden registradas en el mismo momento se producen. La recogida de este tipo de información depende de acciones voluntarias por parte de las personas para “declarar” los cambios de estado del proceso o el control de la propia actividad productiva. En estas condiciones, el control en tiempo real es prácticamente imposible.

A partir de esta problemática, el proyecto persigue proporcionar los medios adecuados a las empresas de los sectores Madera-Mueble y Metalmecánico para que sean capaces de obtener los datos relevantes de sus máquinas, procesos y personal de forma relativamente sencilla. Disponiendo de esta información, se puede utilizar para alimentar sistemas de control de producción tipo MES, para realizar análisis avanzados y modelizar procesos, o simplemente para visualizar e informar al personal de la situación y estado de funcionamiento de cada proceso.

Por ello, el objetivo general del proyecto es desarrollar un sistema de captura de datos en tiempo real que no interfiera en el funcionamiento del proceso, en el control de la máquina o en la actividad del personal, y por tanto independiente del tipo o modelo de máquina y del personal de planta. Este sistema debe ser adecuado para el 90% de los procesos sectoriales (Madera-Mueble y Metalmecánico), y podrá monitorizar las principales variables de los mismos con la frecuencia de adquisición necesaria en cada

caso. El sistema incluye tanto los elementos ciberfísicos de recogida de datos, como los medios adecuados para el almacenamiento de los mismos y su posterior explotación.

#### Nivel tecnológico y grado de innovación

Los objetivos que persigue el proyecto supondrán un avance sustancial respecto al estado del conocimiento actual referente a los sistemas que se utilizan actualmente a nivel industrial para monitorizar el estado de máquinas y procesos discretos, paso previo a cualquier proceso de análisis y tratamiento de la información recogida y que permitirá mejorar cualquier aspecto de los procesos monitorizados.

Concretamente, el proyecto aportará novedad en dos ámbitos:

- Competitividad Sectorial: a través del desarrollo de un conjunto de elementos de bajo coste y fácil utilización que permiten recoger la información básica de cualquier máquina, y que es necesaria para integrarse en la digitalización de los procesos productivos. Como se ha indicado anteriormente, es muy complejo, laborioso y caro obtener información fiable de la mayor parte de procesos de fabricación y de las actividades del personal, más allá de la evidente. Consiguiendo este objetivo, se abre una puerta a la implantación de sistemas de control de producción y control de proceso en unas condiciones mucho más ventajosas que las actuales para que las empresas puedan mejorar la eficiencia de sus procesos.
- Tecnológica: aportando innovaciones en el ámbito de los sistemas de medida de la condición de máquinas y procesos, así como en el ámbito del control de la actividad laboral de las personas. Cabe destacar que la finalidad del proyecto no es crear un mero sistema de monitorización de datos, ya que esta función se puede realizar con un conjunto de sensores, algún dispositivo de control y un bus de comunicación adecuado. Como se ha podido ver en el estado actual de la técnica y en las referencias existentes, actualmente hay una tendencia evidente hacia la integración de sensores en dispositivos más complejos que añadan funcionalidad a la mera medición de variables físicas, y sobre todo que sean dispositivos capaces de “sentir” por sí mismos, sin interferir con los objetos sobre los que se mide. Obviamente no es suficiente con medir de forma autónoma, sino que los dispositivos deben aportar cierta inteligencia (sistemas ciberfísicos) y además deben poderse comunicar entre ellos para que la solución sea escalable, y con algún tipo de plataforma para poder utilizar la información recogida.

Los resultados del proyecto estarían un nivel por encima de lo que aportan los actuales sistemas de medición/captura de datos existentes, los cuales deben ser diseñados e implementados a medida de cada instalación, integrando componentes o interfiriendo en los controles de máquina cuando ello es posible (casi nunca), y teniendo en cuenta que en los sistemas actuales no existe opción para controlar e interpretar la actividad desarrollada por el personal.

El grado de madurez de la tecnología del presente proyecto se inicia en TRL4 (modelo de sistema en un entorno relevante) debido a que AIDIMME dispone de experiencia y tecnología, validadas en entornos controlados gracias a otros proyectos desarrollados o en desarrollo, en los ámbitos de la medición y representación de variables de procesos, en

la utilización de diversos dispositivos controladores (microprocesadores y controladores en tiempo real para comunicación y procesamiento de señales) y en el uso de herramientas para depuración y representación de gran cantidad de datos (LabView, Envision BI, etc).

Los objetivos del proyecto permitirían alcanzar un TRL6 (validación de componente y disposición de los mismos en un entorno relevante) gracias a que los desarrollos realizados serían validados en el contexto de un Proyecto Piloto que contempla la participación de al menos dos empresas en entornos reales de los sectores del Hábitat y Metalmecánico (PROFILTEK y LEMEC).

## 2. PT1- Revisión del estado del arte

Los objetivos de este paquete de trabajo, que finaliza en la primera anualidad, son adquirir conocimiento sobre los sistemas de sensorización existentes a nivel industrial, y sobre plataformas web de recogida, visualización y análisis de datos (plataformas IIoT y su aplicación industrial).

Para cubrir estos objetivos se dividió el trabajo en tres áreas: dispositivos de medición de actividad del personal, sistemas compactos de medición de variables físicas y sistemas de transferencia, almacenamiento y análisis de datos. En total se han consultado 55 referencias bibliográficas y páginas web.

Considerando el alcance del proyecto y los objetivos perseguidos, se puede extraer las siguientes conclusiones relativas al estado del arte en los tres ámbitos estudiados:

- a) Técnicamente se podría plantear un avance en el estado del arte en el control de determinado tipo de actividades, siempre que éstas no se refieran a las secuencias de tareas que deben realizar los operarios ya que la complejidad y variabilidad de operaciones y tareas harían imposible obtener resultados aprovechables. El análisis y control de operaciones mediante *wearables* tiene una envergadura que excede del ámbito de este proyecto.
- b) Por las implicaciones legales derivadas, es necesario restringir el control de la actividad a tareas estrictamente relacionadas con el trabajo que debe hacer cada persona y siempre que éste control sea proporcional y compatible con la finalidad buscada. Se puede desarrollar algún tipo de control de actividad automático que facilite al operario el reporte o seguimiento del trabajo realizado para facilitar su trabajo, evitándoles tareas de reporte de actividad cuando éstas se puedan realizar de forma automática.
- c) No se ha detectado ninguna plataforma de desarrollo de aplicaciones o dispositivo orientado al desarrollo de aplicaciones de medida o extracción de datos en el ámbito de la industria (Figura 1).
- d) La concentración en un único dispositivo de diversos elementos de medición permitiría utilizarlo con un propósito general, en este caso aplicarlo a cualquier tipo de máquina o proceso. Se evidencia la posibilidad de que un único dispositivo no pueda recoger todas las señales necesarias para realizar interpretaciones correctas de las mismas, con lo cual sería viable hablar de mediciones distribuidas utilizando más de un dispositivo por máquina/proceso o una combinación de varios dispositivos diferenciados.

	Vibración	Sonido	Visión	Temp Ambiente	Humedad	Presión atm.	Iluminación	Movimiento	Campo magnético	Posición (giroscopio)
EchoFlex TempHum [31]				•	•					
Cao Wireless Tag [32]				•	•	•				
Sen.se Mother [33]	•			•				•		
Enlightened Smart Sensor [34]				•			•	•		
Sears WallyHome [35]				•	•				•	
Samsung SmartThings [36]	•			•					•	
TI SensorLink SensorTag [28]	•			•	•	•	•			
Dialog IoT Sensor Dev Kit [37]	•			•	•	•			•	
Relayr Wunderbar [38]	•	•		•	•		•		•	
Libelium Events Module [27]	•			•	•		•	•	•	
Notion Sensor [39]	•	•		•	•		•	•		
AdMobilize Matrix [40]	•	•	•	•	•	•	•	•		
MiniZed™ [23]	•	•		•						
XDK110 [24]	•	•		•	•	•	•		•	•
DropTag LOGGER [25]	•			•	•	•				•

Figura 1.- Inventario de dispositivos comerciales y de investigación que ofrecen diversos elementos de medición integrados (Figura 5 del Entregable 1.1)

- e) Una característica común en todos los dispositivos existentes es el bajo consumo de energía, aspecto crítico en la mayor parte de elementos de medición similares ya que no es viable estar cambiando baterías en un rango de días o semanas. Una opción utilizada en ciertas aplicaciones es mantenerlo conectado de forma permanente a la red eléctrica, aunque se debe evaluar su factibilidad en el ámbito industrial.
- f) Hay que plantear un método de aprendizaje, ya que es muy probable que no existan dos procesos iguales y los dispositivos desarrollados deben ser de propósito general. Para ello debe realizarse una prospección experimental sobre el tipo de datos, su calidad, la relación señal/ruido, etc, con objeto de aproximar las técnicas a utilizar. Como alternativa se puede plantear el problema a la inversa: cómo deben ser los datos para que puedan ser tratados con herramientas de *clustering*, de forma que se procesen los datos crudos para transformarlos al formato deseado.
- g) A pesar de la gran cantidad de información existente sobre plataformas que pueden ser utilizadas para el IoT, la mayor parte de experiencias corresponde a aplicaciones alejadas del mundo industrial. Todavía quedan algunos problemas críticos que resolver para la aplicación de sistemas de IoT en el dominio industrial, especialmente los relacionados con el despliegue de sensores, la seguridad y el análisis de datos. El proyecto debe abordar estos aspectos.
- h) Se debe explorar y experimentar tres alternativas en cuanto al análisis de datos: procesamiento previo al envío a la plataforma, análisis utilizando las herramientas de la plataforma seleccionada y análisis externo a la plataforma, que en este caso serviría como repositorio de datos y presentación de resultados (Figura 2)

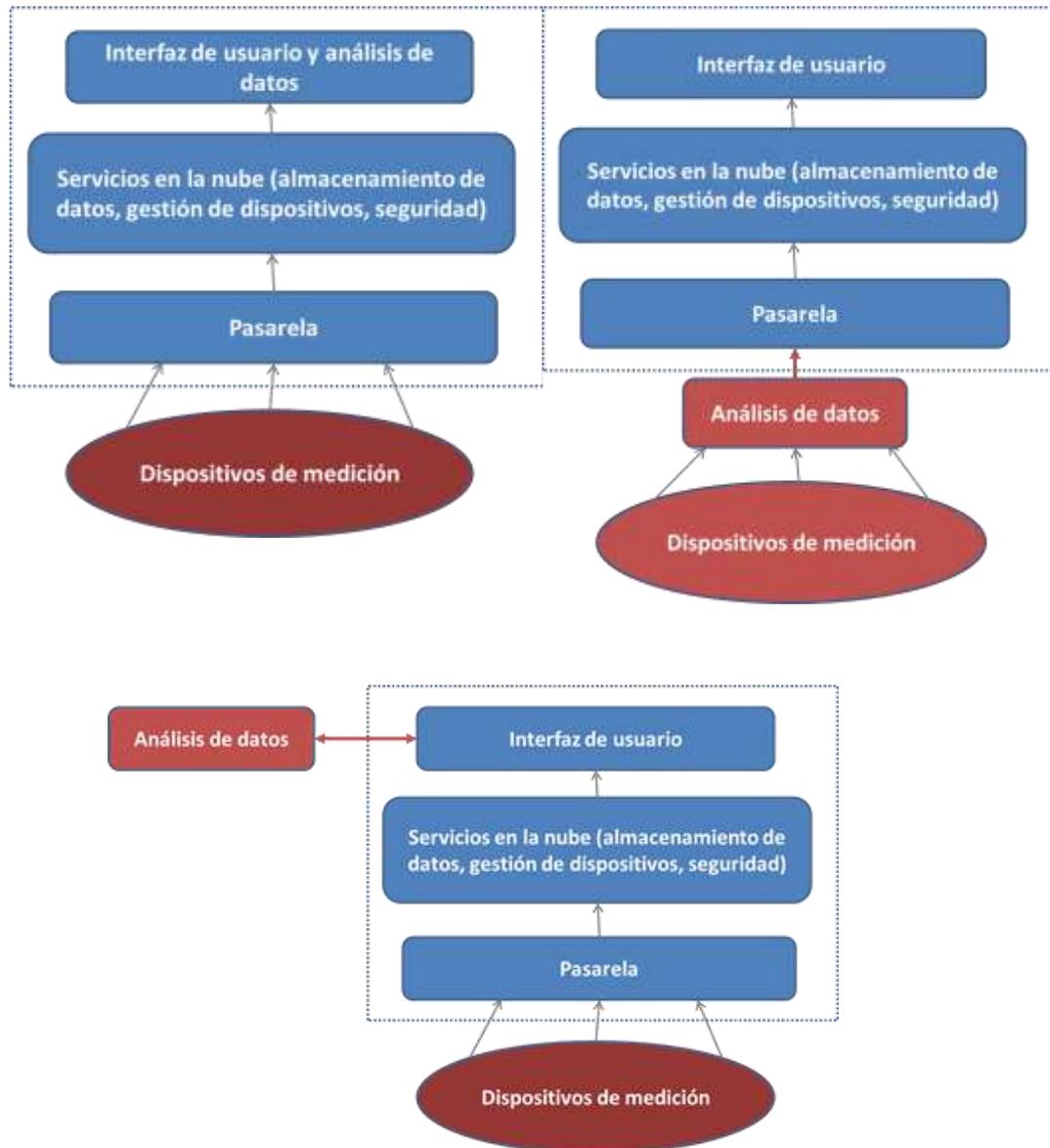


Figura 2- Alternativas en el procesamiento y la analítica de datos (elaboración propia)

- i) Por último hay que realizar un análisis previo de los siete retos que se apuntan en la literatura:
- Discriminar los falsos positivos y los falsos negativos y evaluar su repercusión.
  - Identificar de forma unívoca el proceso analizado.
  - Seleccionar las características esenciales de los sucesos analizados.
  - Evaluar la independencia entre características.
  - Seleccionar métodos de análisis que tengan en cuenta el desequilibrio entre la ocurrencia de los sucesos.
  - Seleccionar métodos de análisis robustos que consideren la variabilidad de las características medidas por causas externas.

- Presentar la información de forma sencilla y adecuada a las personas que deben interpretarla.

### 3. PT2- Diseño de dispositivos

Como objetivos para la primera anualidad, en este paquete de trabajo se planteaba, en primer lugar, la selección de variables a medir dentro del proceso productivo y en las actividades que realiza el personal de fabricación, de forma que sean significativas, aporten conocimiento relevante y tengan repercusión sobre los resultados. Seguidamente, a partir de la caracterización realizada, se diseñan los dispositivos de medición de maquinaria. Estos dispositivos se encargarán de la medición tanto del estado de la máquina como del trabajo realizado por la misma, y serán desarrollados en la segunda anualidad del proyecto.

En proyectos anteriores se identificaron una serie de variables relevantes cuya medición podría informar acerca del estado de cualquier proceso de fabricación en los sectores Madera-Mueble y Metalmecánico.

Estas variables son las siguientes: Presión, Intensidad de corriente, Tensión eléctrica, Velocidad angular, Velocidad lineal, Temperatura, Humedad ambiental, Sonoridad, Vibración, Viscosidad, Caudal de fluidos, Iluminación, Nivel de líquido en recipientes, Volumen/Cantidad de partículas sólidas en el aire, Volumen/cantidad de partículas sólidas en líquidos, Peso y Posición lineal

Estas variables pueden medirse de forma directa, mediante un sensor instalado en el lugar adecuado, o de forma indirecta, instalando un sensor sin interferir en el evento medido. Y este es el resultado buscado para conseguir uno de los objetivos del proyecto, que es precisamente medir sin interferir en el proceso. Se debe evaluar si todas las variables que se pueden medir de forma directa pueden medirse de forma indirecta igualmente. En realidad más que la medición de las variables, lo que interesa es medir los efectos de las acciones asociadas a cada variable.

Dado que se trata de medir el estado de un proceso de fabricación considerando el interés prioritario de la empresa, resulta inevitable introducir las tres variables clave que definen la eficacia de cualquier proceso: la disponibilidad de los equipos, el rendimiento o velocidad del proceso y la calidad de los productos obtenidos, es decir el universalmente utilizado OEE.

A partir de estas premisas cabe plantear qué parámetros del proceso se deben medir para obtener el OEE, pensando en la generalidad de procesos relevantes en los sectores objetivo. El paso siguiente será relacionar estas mediciones con las variables clave enumeradas anteriormente (u otras adicionales si se detectasen).

Para llegar a definir a priori estas variables “indirectas” se sigue un procedimiento deductivo en grupo de trabajo, cuyo resultado se muestra en la Figura 3.



Figura 3- Variables indirectas a medir para determinar la eficacia de un proceso estándar

Como puede apreciarse, es posible medir la eficacia de cualquier proceso estándar mediante un conjunto de variables de medición indirecta, que son:

- Sonido
- Vibración
- Variación consumo de energía
- Variación de temperatura
- Variación de iluminación
- Movimiento

Hay algún parámetro que requiere una acción voluntaria por parte del operador (declaración voluntaria) o el acceso al control automático del proceso, lo cual queda descartado ya que interferiría en el propio proceso.

Por otro lado, en la memoria de solicitud se planteaba la posibilidad de medir el estado del proceso mediante dispositivos de medición indirecta. Para evaluar qué tipo de variable “indirecta” habría que medir en este caso, se plantea cruzar las variables relevantes con las obtenidas anteriormente para valorar si sería necesario considerar alguna más (Tabla 1).

		MEDICIÓN INDIRECTA					
		Sonido	Vibración	Variación consumo de energía	Variación de temperatura	Variación de iluminación	Movimiento
<b>MEDICIÓN DIRECTA</b>	<b>Presión</b>	X	X				
	<b>Intensidad de corriente</b>			X			
	<b>Tensión eléctrica</b>			X			
	<b>Velocidad angular</b>	X	X				X
	<b>Velocidad lineal</b>	X	X				X
	<b>Temperatura</b>				X		
	<b>Humedad ambiental</b>						
	<b>Sonoridad</b>	X					
	<b>Vibración</b>		X				
	<b>Viscosidad</b>						
	<b>Caudal de fluidos</b>						
	<b>Iluminación</b>					X	
	<b>Nivel de líquido en recipientes</b>						
	<b>Cantidad de partículas sólidas en el aire</b>						
	<b>Cantidad de partículas sólidas en líquidos</b>						
	<b>Peso</b>						
<b>Posición lineal</b>	X	X				X	

Tabla 1- Relación entre variables directas e indirectas

Como se puede apreciar, la humedad ambiental no aparece como relevante para el OEE, aunque puede ser significativa para caracterizar otros procesos, y existen sensores que la miden sin interferencias con el proceso. El resto de variables no relacionadas no pueden medirse sin interferencia con el proceso.

Por consiguiente, la lista de variables que de forma universal pueden medir la eficiencia del proceso y algunas características del mismo queda como sigue:

- Sonido
- Vibración
- Variación consumo de energía
- Variación de temperatura
- Variación de iluminación
- Movimiento
- Humedad ambiental

A la vista de las variables seleccionadas, y siendo conscientes de que con todas ellas se puede medir de forma universal y sin interferencias tanto el estado de la máquina como el trabajo realizado por la misma, cabe replantear la construcción de dos dispositivos para medir ambos conjuntos de características, tal y como se adelantaba en la memoria de solicitud. Con un solo dispositivo que integre estas capacidades y tenga la capacidad de cómputo adecuada es suficiente, sin que por ello se pierda funcionalidad ni se modifique el alcance ni objetivos del proyecto.

Respecto a la medición de las actividades del personal, ya se ha adelantado en la recopilación del estado del arte que la legislación laboral vigente protege los derechos de los trabajadores de tal suerte que la empresa no puede entrometerse en su intimidad y dignidad, y debe proteger los datos de carácter personal según la ley de protección de datos. Esto no significa que la empresa no pueda realizar un control del personal para comprobar el cumplimiento de los horarios de trabajo y de las tareas asignadas al trabajador.

Se puede desarrollar algún tipo de control de actividad automático que facilite al operario el reporte o seguimiento del trabajo realizado para facilitar su trabajo, evitándoles tareas de reporte de actividad cuando éstas se puedan realizar de forma automática. Por ello, el control que se puede plantear es el siguiente:

- Reportes manuales en sistemas que faciliten su automatización, por ejemplo mediante pantallas táctiles con menús que sólo requieran selección y no escritura, o fichaje mediante códigos de barras, o mediante tarjetas RFID.
- Control de presencia en el puesto de trabajo. Que puede realizarse de forma voluntaria o automática, identificando el movimiento o las variaciones de calor en la ubicación habitual de la persona.

Por ello, las variables que se plantea medir y que se podrían integrar en un dispositivo para medir la actividad del personal, manteniendo la necesaria privacidad y evitando problemas legales, utilizará los siguientes sensores:

- Sensor de movimiento
- Sensor de radiaciones térmicas
- Lector de tarjetas RFID miniatura

Tras realizar la caracterización y evaluación de variables a medir, se llega a la conclusión de que los dispositivos a desarrollar, que deben ser compactos, universales y realizar mediciones sin interferencia directa con el proceso productivo deben ser los siguientes:

Dispositivo D1. Medición del estado de la máquina y del trabajo realizado por la misma, para definir la eficacia del proceso. Contendrá los sensores adecuados para medir las siguientes variables:

- o Sonido
- o Vibración
- o Variación consumo de energía
- o Variación de temperatura
- o Variación de iluminación
- o Movimiento (paso de piezas)
- o Humedad ambiental

Dispositivo D2. Medición de la actividad del personal. Considerando las limitaciones legales, contendrá los sensores adecuados para medir las siguientes variables:

- o Movimiento (presencia de personal en zona de trabajo)
- o Radiaciones térmicas
- o Tarjetas RFID

Dispositivo D3. Utilizado para el registro de datos estructurados por parte del personal, a través de una interfaz adecuada (Human Machine Interface) y capacidad de comunicación con el sistema de almacenamiento y tratamiento de datos.

Dispositivo D4. Dispositivo de comunicación inalámbrico para la recogida de los datos del resto de dispositivos y vía Gateway mandarlos al sistema externo de gestión de datos.

Una vez definidos los dispositivos a diseñar y las variables que debe medir cada uno de ellos, **se procede a seleccionar y validar los sensores individualmente**. Cabe recordar que estos sensores estarán empaquetados y por tanto no pueden interactuar directamente con el proceso.

#### Sonido.

- Se ha seleccionado un micrófono de condensador. Tiene un campo de aplicación desde 20 Hz hasta 20 kHz.

### Vibraciones y Variación del consumo de energía

- Para medir la vibración se ha seleccionado un sensor con nueve grados de libertad. Tres de estos grados de libertad son de la aceleración en los tres ejes de posicionamiento X, Y y Z. Las series temporales obtenidas de estos tres grados de libertad contienen la vibración en cada uno de estos ejes.
- Para medir la variación del campo magnético (variaciones de corriente y tensión), se ha seleccionado un sensor con nueve grados de libertad. Tres de estos grados de libertad son de la magnitud del campo magnético en los tres ejes de posicionamiento X, Y y Z.

### Variación de temperatura

- Para medir las variaciones en la temperatura ambiental, se ha seleccionado un sensor cuyo campo de medición es de -55 °C hasta 125 °C, con una incertidumbre de  $\pm 0,5$  °C. Su salida emplea el bus de puerto serie bidireccional (HALF-DUPLEX) llamado "1-Wire" por lo que este sensor se conectará a un puerto de entrada y salida digital programable de propósito general (bidireccional).
- Para medir las variaciones en la temperatura superficial, Se ha seleccionado un sensor de temperatura infrarrojo. Este sensor mide la temperatura superficial de una superficie de trabajo sin contacto con ella, mediante radiación infrarroja.

### Iluminación

- Empleamos un sensor que presenta una impedancia muy elevada en ausencia de luz, del orden de M $\Omega$ , que decrece conforme recibe luz, obteniendo un valor, típicamente, de 5 k $\Omega$  a la luz del sol.

### Movimiento (PIR).

- Se ha seleccionado un detector de movimiento. Este detector no emite nada, sino que recibe la radiación infrarroja emitida por las personas o animales, interpretando como movimiento cualquier cambio.

### Humedad ambiental.

- Se ha seleccionado un sensor de humedad relativa que mide la humedad ambiental y sirve para determinar si se encuentra dentro del recorrido recomendado para los trabajadores.

### Radiación térmica

- Se ha seleccionado un sensor con cámara térmica de muy baja resolución (8 x 8 píxeles) que puede usarse para detectar la ausencia o presencia del calor emitido por el cuerpo de una persona o un objeto.

### Identificación por radiofrecuencia (RFID).

- Se ha seleccionado un módulo lector para tarjeta.

### Dispositivo concentrador de datos

Cabe señalar que cada variable a medir será comunicada a un concentrador de datos (HUB) mediante un módulo de comunicación por radiofrecuencia presente en el dispositivo.

Todos los dispositivos esclavos estarán bajo el mando de un maestro que será un microordenador dotado de un puerto de comunicaciones por radiofrecuencia Bluetooth que operará en modo maestro y será un dispositivo concentrador de datos o HUB. El dispositivo HUB va a disponer de una conexión a una pasarela o puerta de enlace "Gateway" de acceso a Internet para posibilitar que los datos de los esclavos sean transmitidos a una base de datos en la nube. La pasarela "Gateway" puede ser inexistente si el HUB se conecta a una red local que ya tenga acceso a Internet (como es el caso en la mayoría de las empresas). En este caso, el HUB aparecería en la red local como si fuese cualquier otro ordenador PC conectado a Internet.

### **Pruebas de los sistemas de pre-procesado de las señales**

Se ha escogido dos sistemas de pre procesamiento de la señal con el fin de reducir la cantidad de datos antes de su transmisión a la base de datos. El primer sistema de pre procesamiento es un equipo de la marca National Instruments que se muestra en la Figura 7. Este sistema de pre procesamiento tiene un microprocesador y un chip FPGA. El chip FPGA es capaz de procesar datos a una velocidad más alta que la del microprocesador por lo que puede usarse cuando el algoritmo de pre procesamiento requiera una velocidad superior a la del microprocesador.

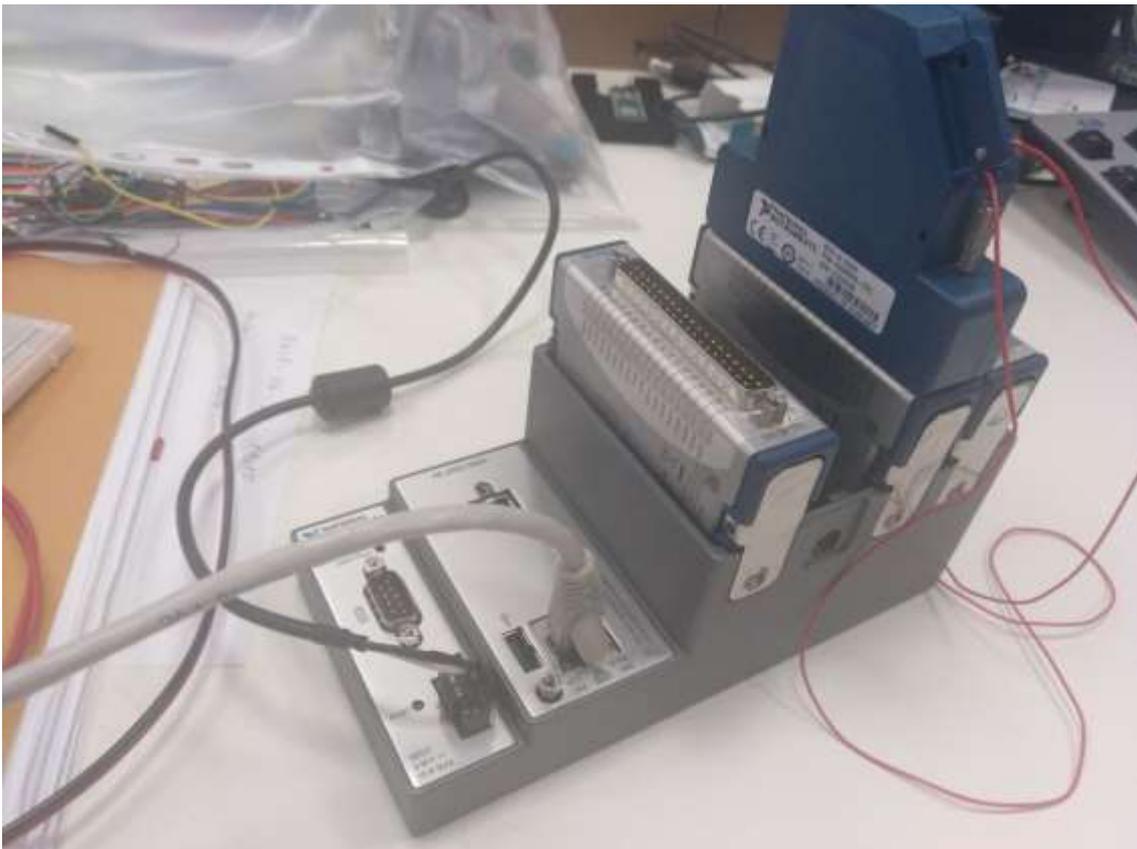


Figura 4 – Equipo de National Instrument.

El equipo se ha probado en el laboratorio. La primera prueba que realizamos consiste en comprobar la adquisición de una onda senoidal proporcionada por un generador de señales.

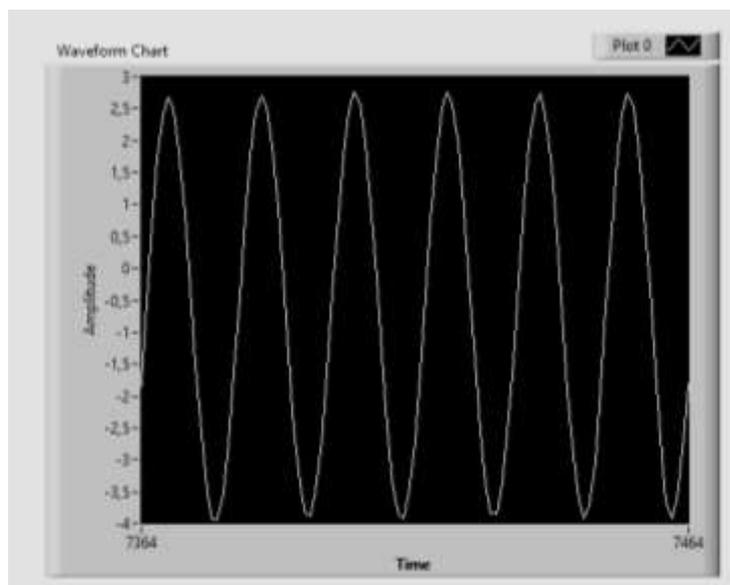


Figura 5 - Forma de onda adquirida.

Seguidamente se realiza una prueba con el algoritmo de la transformada rápida de Fourier (FFT). Inicialmente se prueba con una onda ideal, generada por el programa y posteriormente con una onda real, obtenida de los sensores.

En la Figura 10 se muestra la forma de onda de una señal de 440 Hz recogida por el micrófono electret, obtenida por el controlador compacRIO y mostrada a través de una hoja Excel.

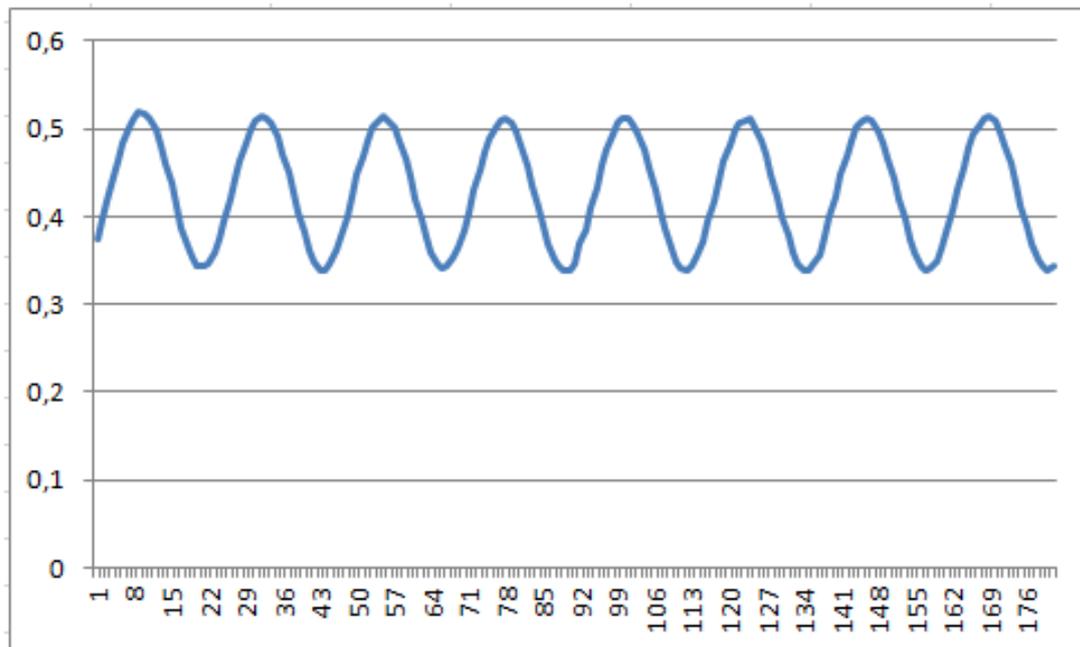


Figura 6 - Datos adquiridos y mostrados vía EXCEL empleando el micrófono electret.

El segundo sistema de pre procesamiento es la tarjeta de evaluación de la marca XILINX. Este sistema de pre procesamiento tiene un chip FPGA de la marca XILINX. El chip XILINX es el mismo chip que se emplea en el producto anterior, por lo que existe compatibilidad a nivel de chip FPGA entre las dos soluciones escogidas para el pre procesamiento.



Figura 7 -. Tarjeta de evaluación XILINX

Al igual que en el caso anterior, no se muestran todos los pasos realizados. El resultado de la prueba se puede apreciar en la Figura 8, donde se observa la onda original y el resultado tras la transformada, mediante la cual se obtienen los armónicos de frecuencia relevantes en la onda y su intensidad.

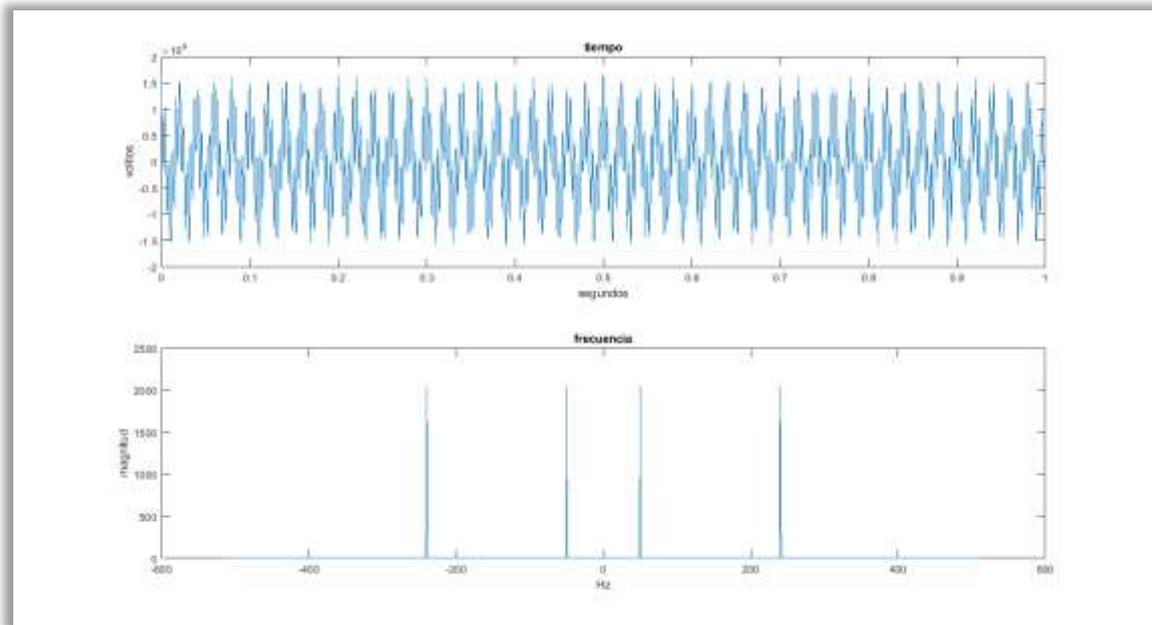


Figura 8 - Resultado obtenido.

### Diseño de los dispositivos

Por último se ha realizado el diseño de bloques de los siguientes dispositivos cuyo desarrollo se realiza en la segunda anualidad.

Dispositivo 1 conteniendo sensores de temperatura ambiente, humedad ambiente, iluminación, sonido, radiaciones magnéticas, movimiento, aceleración en tres ejes, giroscopio, radiaciones térmicas y temperatura superficial, un bloque de procesamiento de las señales empleando la FPGA y un bloque de transmisión de datos.

Dispositivo 2 conteniendo sensores de movimiento (tipo PIR), radiaciones térmicas y lector de tarjetas RFID miniatura, un bloque de procesamiento de las señales empleando la FPGA y un bloque de transmisión de datos.

Dispositivo 3, compuesto por la pantalla HMI, el procesador Raspberry Pi 3 y el bloque de recepción y transmisión de datos.

Dispositivo 4, o HUB de comunicaciones. Este dispositivo es el módulo maestro de Bluetooth que se comunica con todos los módulos esclavos de Bluetooth. Adicionalmente, se comunica a través de Internet con otros dispositivos ya sea a través de una pasarela (ROUTER) o directamente a la red local de la empresa (que debe tener acceso a Internet).

## 4. PT3- Diseño del sistema a desarrollar

Como objetivos para la primera anualidad en este paquete de trabajo se planteaba, en primer lugar, la selección de la plataforma de comunicación. Esta selección implica definir el tipo de sistema a utilizar (cloud, local, en código abierto, propietaria, etc). Seguidamente se trata de diseñar el sistema de gestión y almacenamiento de datos, junto con los elementos de comunicación con los dispositivos y con los sistemas de visualización, además de otros sistemas externos adicionales.

Para realizar la selección de la plataforma se han establecido inicialmente tres posibilidades:

- 1- Se estudia la construcción de una plataforma propietaria, utilizando herramientas propias para la comunicación, certificación y seguridad de dispositivos, montando esta plataforma bien con elementos de terceros o elementos propios.
- 2- Una plataforma de IoT comercial, que cumpla con todas las necesidades del proyecto.
- 3- Utilización del núcleo de una plataforma IoT que permita personalizar el sistema y ampliar funcionalidades tanto con elementos del mismo proveedor, como de otros proveedores.

Se han analizado diversas opciones e informes para decidir la viabilidad del desarrollo de una plataforma propietaria, llegando a la conclusión de que si se decide esta opción el desarrollo habría que hacerlo tomando como base Amazon Web Services (AWS) o Microsoft Azure. El desarrollo de una plataforma propia totalmente desde cero no tiene sentido por el tiempo requerido, coste e infraestructura técnica que se necesitaría.

Para evaluar la otra opción de utilizar una plataforma IoT comercial sin adaptaciones, se decide explorar con mayor profundidad las siguientes:

- Altair Carriots.
- PTC ThingWorx.
- Google IoT Core.
- Amazon Web Service IoT Core.
- Microsoft Azure IoT Suite.

De cada una de ellas se analizan las siguientes características:

- Conexión dispositivos: Dentro de esta variable se contemplan y se valora si la plataforma permite la conexión sencilla de los dispositivos. La totalidad de las plataformas analizadas tiene una nota alta en este apartado.
- Certificados/Seguridad dispositivos y comunicaciones: En este punto se evalúa la seguridad en la comunicación entre el sistema IoT y los dispositivos. En este apartado, todas las plataformas disponen de comunicaciones cifradas entre los dispositivos y la plataforma. Existen en todas las plataformas, salvo en Altair

Carriots, certificados para los dispositivos, lo cual permite validar la autenticidad de los distintos dispositivos.

- Conexión MQTT: Todas las plataformas permiten el uso del protocolo MQTT en las comunicaciones con los dispositivos.
- Conexión OPC UA: El protocolo OPC UA es un protocolo de comunicación industrial. Este protocolo está contemplado por la solución de PTC Thingworx y por el acelerador de soluciones de Microsoft Azure. AWS lo permite mediante la implementación de funciones Lambda en su sistema ontheEdge (en los propios dispositivos), AWS Greengrass.
- Datos y conexiones no limitadas: en este punto se contempla si existen limitaciones en los datos y/o los datos guardados. En este caso, Altair Carriots, al estar orientada a productos IoT, contempla unas restricciones bastante importantes.
- Plataforma web predefinida: en este apartado, se contempla si la solución contempla una plataforma ya definida y se valora la misma. Los únicos que disponen de la misma son Altair Carriots, PTC ThingWorx y el acelerador de soluciones de Microsoft Azure, siendo la de PTC ThingWorx la mejor valorada.
- Servicios atómicos: este punto indica si el proveedor nos proporciona servicios independientes, externos a la solución, que podamos añadir o utilizar en nuestra solución. Se han valorado los servicios Cloud que nos proporciona tanto Google Cloud, Microsoft Azure como AWS.
- Servicios adicionales: indicar si la plataforma nos proporciona servicios adicionales, ligados a la solución, que permita añadir funcionalidades a la misma.
- Posibilidad de modificaciones y personalización: nos indica una valoración sobre la posibilidad de poder realizar modificaciones y adaptar la solución a un proyecto específico
- Solución de implementaciones en los dispositivos: Hay situaciones en las que una parte de la lógica de la programación es necesaria realizarla en los propios dispositivos, por ejemplo, para preprocesar datos y enviar a la nube ya datos tratados. Tanto Google IoT como AWS y Azure disponen de soluciones OnTheEdge, más o menos complejas.
- Servicios de Machine Learning: Se valoran si estas plataformas nos ofrecen servicios de IA y Machine Learning, para su posible utilización en el proyecto.
- Precio

Las valoraciones obtenidas por cada plataforma se muestran en la Tabla 2.

	Altair	PTC	Google IoT	AWS IoT	Ms. Azure
--	--------	-----	------------	---------	-----------

	Carriots	ThingWorx	Core		IoT
Conexión dispositivos	10	10	10	10	10
Certificados/Seguridad dispositivos y comunicaciones	7	10	10	10	10
Conexión MQTT	10	10	10	10	10
Conexión OPC UA	0	10	0	5 (implementada como una función Lambda en AWS Greengrass)	10
Datos y conexiones no limitadas	0	10	10	10	10
Plataforma web predefinida	0	10	0	0	8
Servicios atómicos	0	0	10	10	10
Servicios adicionales	0	7	10	10	10
Posibilidad de modificaciones y personalización	7	5	10	10	10
Solución de implementaciones en los dispositivos (on the edge)	0	0	5	7	7
Servicios de Machine Learning	0	7	9	9	9
Precio	10	0	8	9	8

Tabla 2- Comparativa entre el conjunto de plataformas IoT seleccionadas (elaboración propia)

Las plataformas seleccionadas finalmente mediante esta comparativa interna son AWS y Microsoft Azure. A priori parece que la más adecuada es MS Azure, pero la decisión de cuál de las dos se utilizará se pospone hasta que se disponga de un escenario de pruebas reales mediante los dispositivos que se deben desarrollar en los primeros meses de la segunda anualidad, ya que dependiendo de la cantidad de datos a analizar y dónde se deba hacer el análisis de los datos (en la plataforma o de forma local), o de problemas que se pueda encontrar durante el desarrollo de los dispositivos y del hub/gateway podría ser más adecuada una u otra. Por ello, se han realizado inicialmente pruebas de concepto de ambas plataformas. En cualquier caso, las dos seleccionadas están entre las mejor valoradas por el informe *Navigant Research Leaderboard: IoT Platform Vendors* del cuarto trimestre de 2017.

Seguidamente se realiza una prueba de concepto de cada plataforma, tal y como se ha indicado anteriormente. Para ello se ha creado la solución de Factoría conectada, a través del asistente que nos ofrece el acelerador de soluciones de Microsoft Azure.

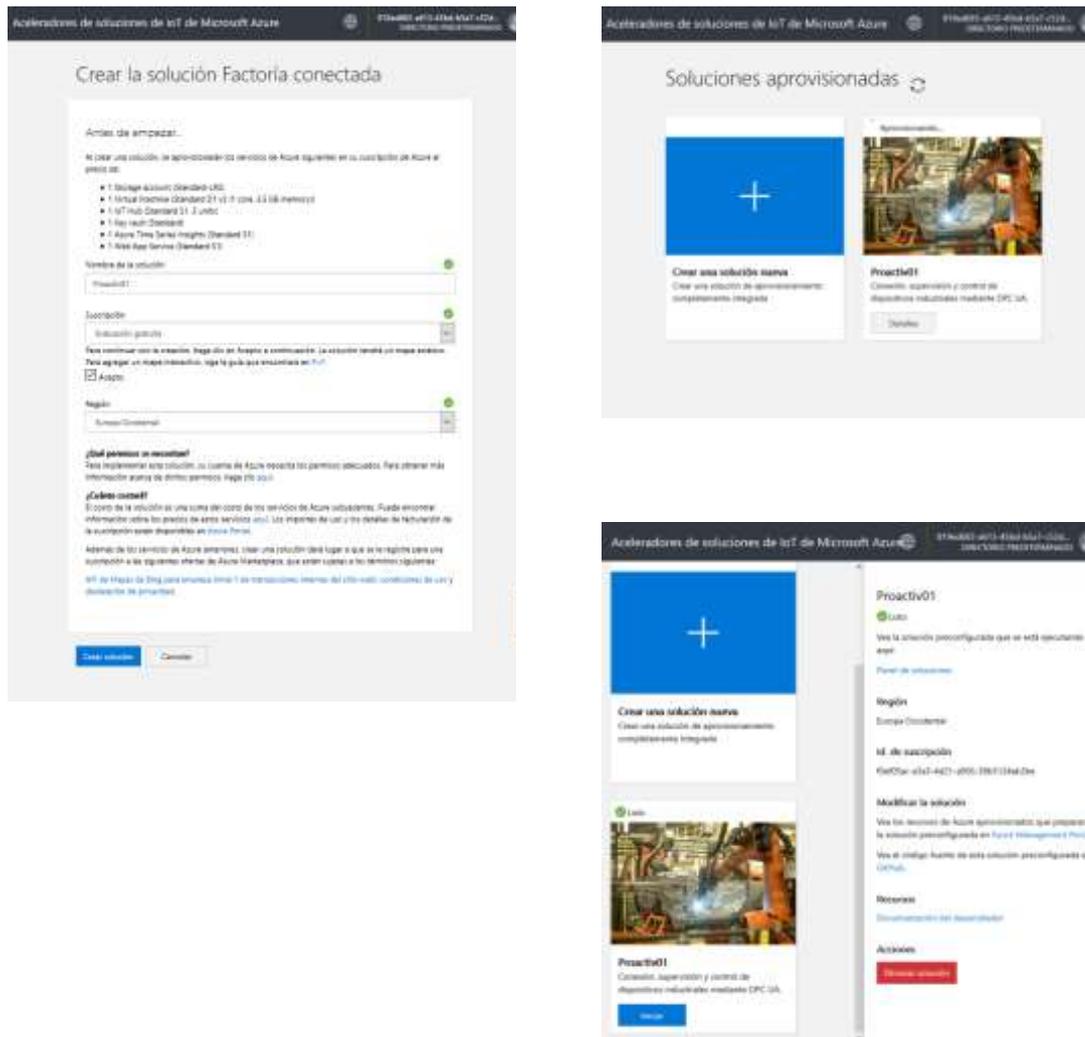


Figura 9 - Proceso de creación de la solución de Factoría Conectada

Esta solución desplegará las estaciones y dispositivos que simularán las líneas de fabricación de la empresa.

El resultado final es ya la aplicación de ejemplo, que muestra los datos de las distintas fábricas, líneas de producción, máquinas y sensores, etc.... todo en tiempo real en base a los datos obtenidos de los simuladores presentes en la máquina virtual. Esta aplicación nos permite configurar y añadir nuevas líneas OPC, gestionar las alarmas y los avisos, visualizar las métricas de evaluación del rendimiento de la fábrica, la línea de producción o la máquina, y sus datos en tiempo real.

PROACTIV  
 RESUMEN DE RESULTADOS OBTENIDOS



Figura 10 - Diversas pantallas de la aplicación web en la prueba de concepto

Por su parte AWS no cuenta con un acelerador ni con soluciones ya creadas, por lo que se debe dar de alta los servicios correspondientes, configurarlos, enlazarlos y programar el funcionamiento del sistema en base a las necesidades definidas.

Utilizando los servicios de AWS se ha realizado una prueba de concepto que engloba:

- Utilización del IoT Core, que contempla la creación de dispositivos, certificados de dispositivos, gestión de comunicación y reglas de mensajes.
- Máquina virtual local con el AWS IoT SDK (qué será el mismo que utilizarán los dispositivos) que nos va a permitir simular el comportamiento de los dispositivos y poder enviar información hacia el AWS IoT Core por medio de mqtt.
- Creación y configuración de una base de datos no relacional (DynamoDB) para almacenar los datos relevantes recibidos.
- Gestión de los mensajes recibidos, preproceso de los mismos y enrutamiento a otros servicios por medio de reglas y funciones lambda.

Tras realizar estas pruebas detalladas en el *Entregable 3.1*, las conclusiones que se extrae son las siguientes:

La solución de ejemplo de Microsoft que hemos implementado nos ofrece diversos elementos que podemos utilizar como base de partida en nuestra solución definitiva, pero que tendremos que adaptar a las necesidades de nuestro proyecto.

Aspectos a tener en cuenta:

- en lo posible, pretendemos realizar una solución multiempresa, que permita ofrecer servicios a diversas empresas en base a la misma infraestructura.
- la comunicación empleada en este tipo de solución es a través de OPC UA, por lo que los dispositivos a desarrollar dentro del proyecto tendrán que cumplir con este estándar de comunicación.
- debemos de adaptar los elementos de obtención de datos finales por parte de los dispositivos y dejar abierta la posibilidad la utilización de los servicios de Machine Learning.

La prueba de concepto que hemos implementado de AWS es una solución parcial que nos ha permitido ver y poder diseñar una solución completa que pueda cumplir con todos los requisitos del proyecto.

En esta solución sería necesario desarrollar desde cero una aplicación web a la que poder acceder para poder gestionar y monitorizar todos los dispositivos. En el caso de Microsoft ya partimos de una solución base, que aunque no se adapta a todos los requisitos, nos permite partir de ella para desarrollar nuestra propia aplicación.

Aspectos a tener en cuenta:

- Se deberán de implementar, por medido de los sdks o con programación propia la lógica de la comunicación en los dispositivos.
- Se deberá de desarrollar desde 0 la plataforma web.

Finalmente se aborda cómo debería ser el diseño de la plataforma. Un diseño normal IoT sería el que describe Microsoft en su documento Microsoft Azure IoT Reference Architecture.

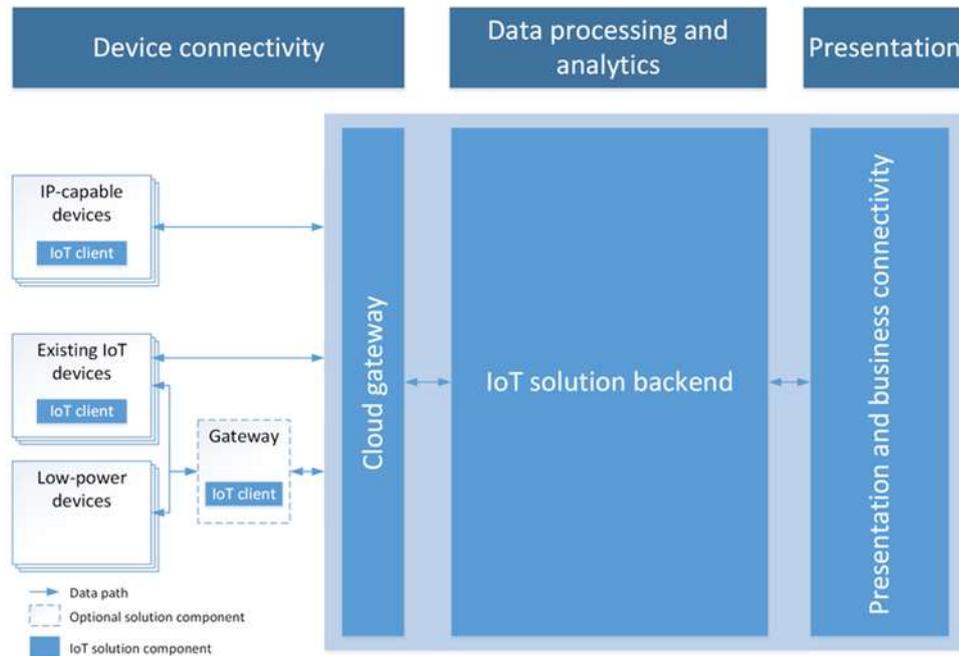


Figura 11- Estructura recomendada de una plataforma IoT

La estructura de la arquitectura de Microsoft Azure a utilizar sería la siguiente:

- 1 Storage account (Standard-LRS)
- 1 Virtual Machine (Standard D1 v2 (1 core, 3.5 GB memory))
- 1 IoT Hub (Standard S1, 3 units)
- 1 Key vault (Standard)
- 1 Azure Time Series Insights (Standard S1)
- 1 Web App Service (Standard S1)

Esto supone el siguiente coste mínimo de la solución:

Service type	Region	Description	Estimated Cost
Storage	West Europe	Redundancia Table Storage, Estándar y LRS, Capacidad: 1000 GB, Transacciones de Storage: 100	€59,06
Virtual Machines	West Europe	1 D1 v2 (1 vCPU; 3.5 GB de RAM) x 730 Hours; Windows – (solo SO); Pago por uso; 1 discos de sistema operativo administrados: S4	€83,17
IoT Hub	West Europe	Nivel Estándar, Gratis: 500 dispositivos, 8.000 msgs/día, \$0.00/mes, 0 Unidades	€0,00

PROACTIV  
RESUMEN DE RESULTADOS OBTENIDOS

Key Vault	West Europe	1000000 operaciones/mes, 0 operaciones avanzadas/mes, 0 renovaciones/mes, 0 claves protegidas/mes, 0 claves protegidas avanzadas/mes	€2,53
Time Series Insights	West Europe	Nivel S1: 1 unidades	€126,49
App Service	West Europe	Nivel Estándar; 1 S1 (1 núcleos, 1.75 GB de RAM, 50 GB de almacenamiento) x 730 Hours; SO Windows	€61,56
Support		<b>Support</b>	€0,00
		Licensing Program	Microsoft Online Services Program (MOSP)
<b>Monthly Total</b>			<b>€332,82</b>
<b>Annual Total</b>			<b>€3.993,82</b>

En este planteamiento el sistema debería de trabajar con los datos limpios y procesados adecuadamente.

Para solucionar el preprocesamiento de los datos, p.e. la extracción en base a las vibraciones de datos como número de unidades procesadas, tiempos de inicio de actividad, parada, etc... podemos optar por varias alternativas:

- Del procesamiento se encargaría el propio dispositivo. Para esto contamos con dispositivos ciberfísicos. Este planteamiento es el ideal, pero es posible que durante el desarrollo nos encontremos con la necesidad de obtener estos datos por medio de elementos externos, y/o con ayuda de sistemas de aprendizaje automático o machine learning. El resto de alternativas inciden en la solución a esta posibilidad.
- El preproceso se realizaría en la fábrica/dispositivo. Para los algoritmos de machine learning se utilizaría MatLab. Desde MatLab se entrenarían los algoritmos y se podría obtener un archivo ejecutable para utilizar en los dispositivos.
- El preproceso se realizaría en la fábrica/dispositivo, se utilizaría las soluciones de Azure para the Edge, que nos posibilitaría el uso de los algoritmos de Machine Learning desde los propios dispositivos. Estos algoritmos serían entrenados con anterioridad en el Cloud de Microsoft Azure.
- El preproceso se realizaría en la nube, mediante las herramientas de machine learning Microsoft Azure (aquí incluso podríamos utilizar la alternativa de AWS). Para ello será necesario subir toda la información que capturen estos dispositivos a la nube, lo cual puede ser poco viable o costoso, por lo que, dependiendo de la implantación final del hardware, podría ser descartada esta opción.