

**FAGOR**  
AUTOMATION



Open  
to your  
world



**DANOBATGROUP**

## Mantenimiento cognitivo en el sector de la máquina herramienta



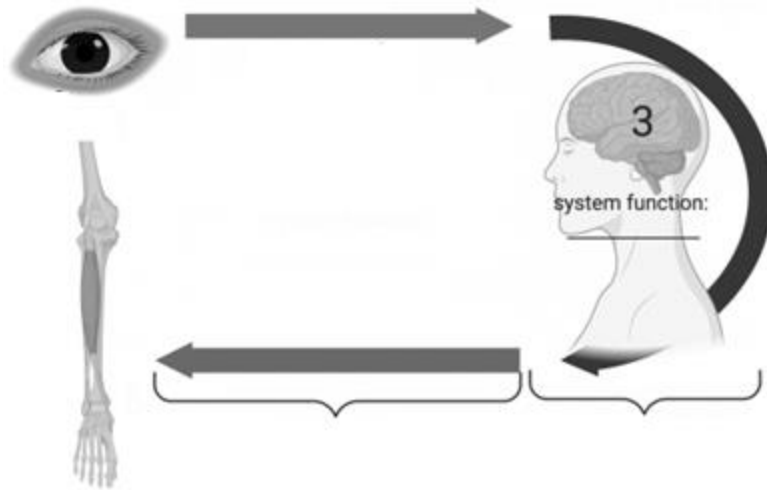
**JAVIER ARENAS**  
Director de Fagor  
Aotek S.Coop.



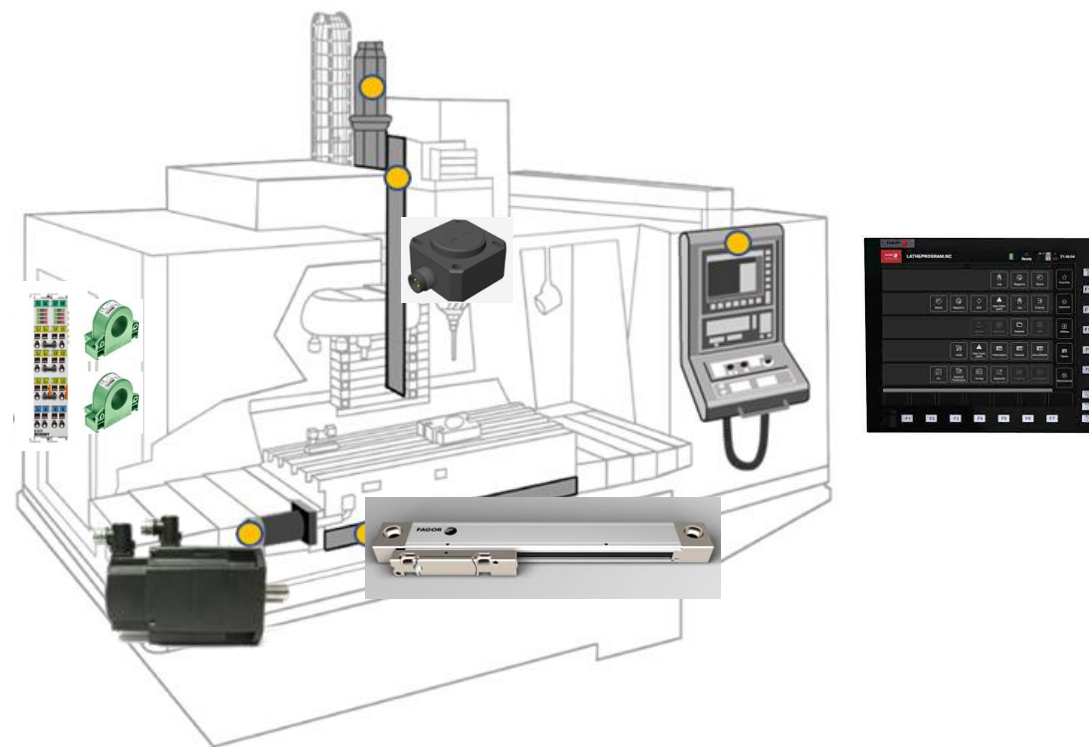
**GORKA UNAMUNO**  
Investigador en Ideko

**IMIC | 2022**

El **modelo cognitivo** más completo es el del ser humano.  
Analogía con el modelo cognitivo deseable de la máquina y entre los sistemas de percepción animal y de la máquina.  
En este modelo **el cerebro de la máquina herramienta es el CNC-PLC.**



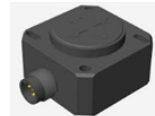
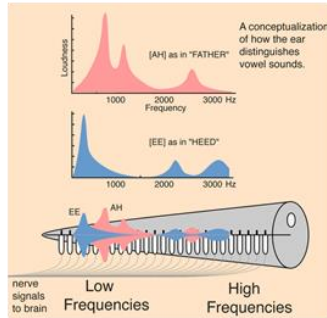
© sciencemusicvideos L.L.C. Created with BioRender.com



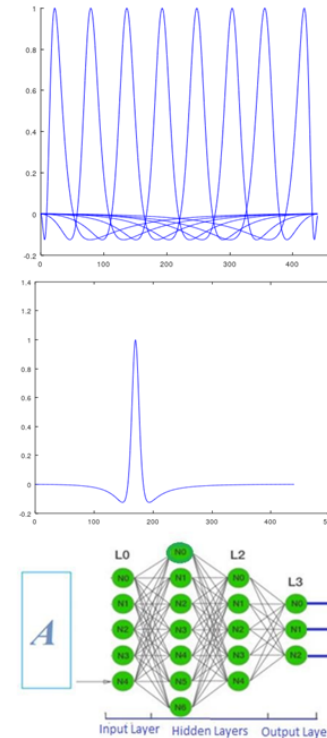
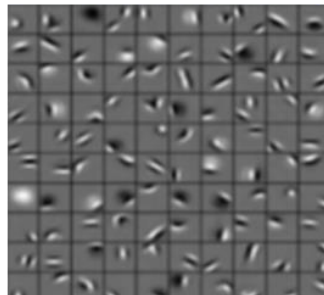
El **PLC** organiza los automatismos de la máquina y equivaldría al **sistema nervioso autónomo**.  
Un **sensor propioceptivo** es cualquier sensor usado para medir el estado interno.  
El sistema propioceptivo de la máquina incluiría encoders y reglas, sensores de corriente de los motores...

Existe consenso en la naturaleza **estratificada y jerarquizada** de las redes neuronales naturales y en la especialización de algunas capas en el reconocimiento de formas.

## Modelo cóclea



## Capas de neuronas V1,V2 en visión



Los niveles de abstracción superiores no solo reciben, fusionan y extraen características, sino que pueden configurar los filtros y/o algoritmos que rigen el pre-procesado mediante:

- Atención
- Inhibición
- Cambio de modo

# Arquitectura Cognitiva





- Los sistemas propioceptivo y/o exteroceptivo presentes en una máquina y proceso determinados envían sus datos.
- Los datos son tratados de forma individual para optimizar la información extraída.
- Este pre-procesado es ad-hoc y viene gobernado por las capas superiores.





- **La capa de fusión** permite agrupar información redundante, asociar factores de confiabilidad a los sensores y normalizar datos de sensores distintos.
- **La capa de abstracción** permite desarrollar sensores “virtuales” y ofrecer a las capas superiores un modelo de máquina relativamente homogéneo



- La información es procesada, estratificada y jerarquizada
- Existen varios procesos cognitivos:
  - Estado de salud
  - Control de proceso
  - Estados energéticos...

...que pueden entrar en relación o incluso en conflicto

- Puede haber realimentación de las capas superiores hacia las inferiores, al menos en los aspectos de :
  - Atención
  - Inhibición
  - Degradación

# Autoconciencia





# Self Awareness

Conjunto de procesos cognitivos



Procesos Cognitivos

“sensorización” virtual, abstracción

Capa de fusión

preprocesado

reglas

preprocesado

encoder motor  
corriente motor

preprocesado

acelerómetros

preprocesado

micrófonos

preprocesado

vatímetros

preprocesado

Cámara,  
Temperatura...

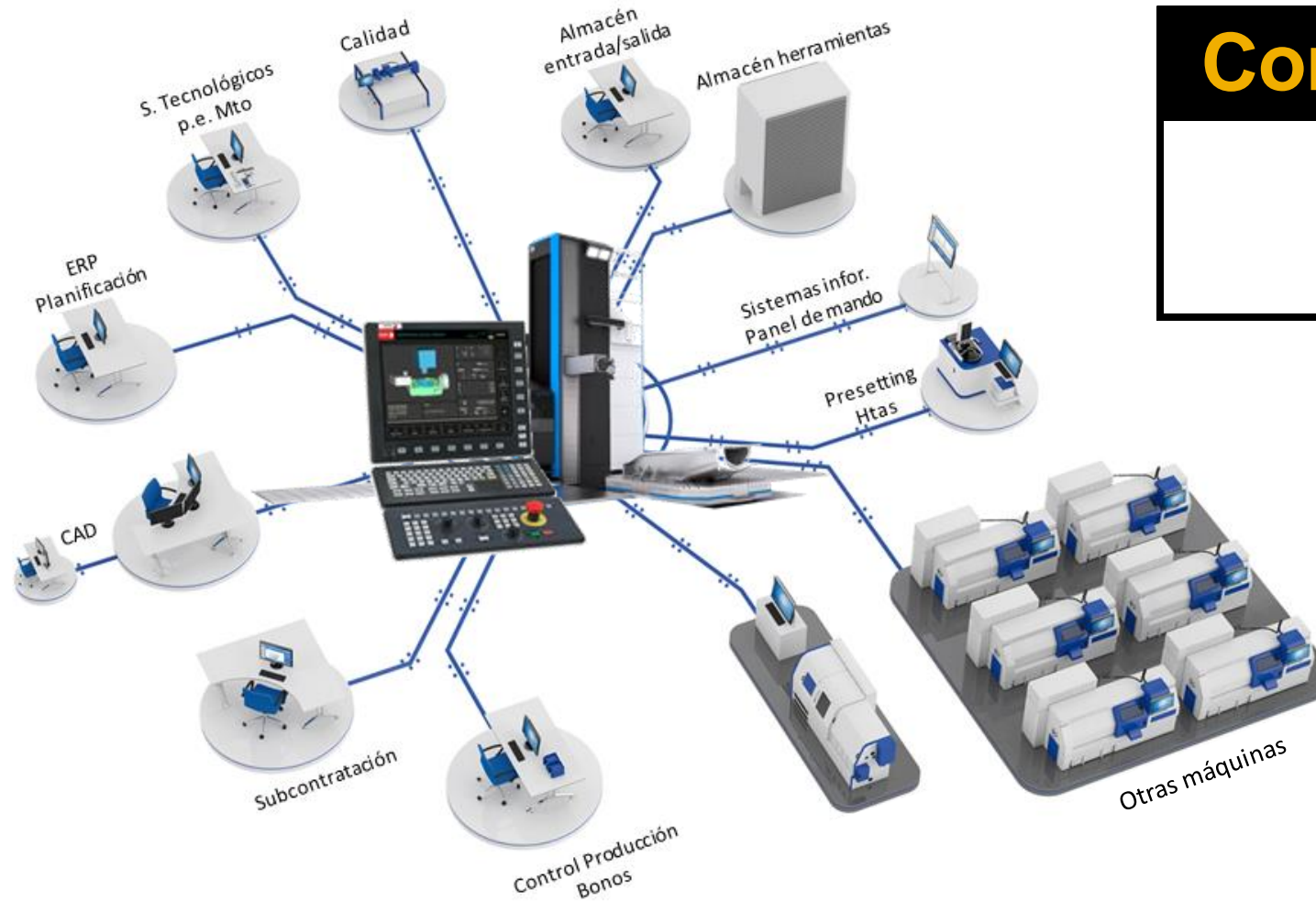


- **Self Awareness** implica una perspectiva holística de la máquina, con un cierto grado de abstracción sobre la naturaleza física de sus componentes.
- Para obtener este conocimiento globalizado la máquina debe monitorizarse a sí misma y su entorno y proceso.



# Conocimiento del contexto





# Context Awareness

Entorno  
Resto de máquinas  
Máquina social

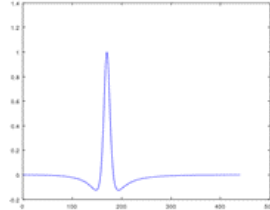
- Context Awareness: es la capacidad de la máquina para recoger información acerca de su entorno y adaptar su comportamiento en función de ella.

## ¿Cómo actúa una máquina con **nivel cognitivo superior**?

Estado  
de salud



Otros procesos  
cognitivos



**Atención:** Activación de monitorizaciones o filtrados en función de estado y proceso a realizar.



**Inhibición :** Ante la falta de confiabilidad de la posición de la regla (alarma de captación...) y la ejecución de una tarea de desbaste, inhibir dicha alarma y terminar la operación.



**Modo degradado:** con cabezal que exhibe deterioro, reducir la potencia para terminar una operación de desbaste, por ejemplo.



**MH + IA**  
**¿MH Cognitiva?**



- En entornos 4.0 estamos perfeccionando el mantenimiento predictivo (que es muy anterior a la cuarta revolución industrial) en el cual ya se calculaba la degradación de los activos de cara a planificar una acción de mantenimiento preventiva o correctiva previa al fallo.
- Estos cálculos/estimaciones/predicciones cuentan en la última década con dos tecnologías habilitadoras:
  - **La IA** que añade precisión y reduce la incertidumbre de la estimación en entornos dinámicos y cambiantes.
  - **Los modelos híbridos** que combinan las predicciones tradicionales con simulaciones multifísicas que permiten predecir comportamientos no acontecidos y **completar así los data sets**.

Estos dos elementos ponen al mantenimiento predictivo en la proa de los servicios 4.0 y abren una nueva línea, la del **prescriptivo** en la cual consideramos múltiples escenarios en los que la máquina puede ser **operada y mantenida** en pro de elegir el **óptimo en salud y rendimiento**.

**Ya no solo queremos predecir**, sino que nos interesa seleccionar el mejor de los mundos posibles para nuestro objetivo productivo y de preservación del estado del activo.

## Caja de cambios

Condición de Cojinetes y engranajes

Condición del Motor



## Equipo hidraulico

Monitorización del rendimiento



## Piñon cremallera

Condición del piñon cremallera  
Condición del motor



## Tool Magazine

Control de vida de herramienta



## Cabezal

Condición de rodamientos

Condición de engranajes

Monitorización vibración (Chatter)

Monitorización del omportamiento térmico



## Husillos

Condición de la tuerca y del husillo

Condición del rodamiento

Condición de la correa



## Técnicas de monitorización y diagnóstico

### Monitorización continua

Diagnóstico en producción de piezas repetitivas

#### MONITOR DE PROCESO



ANALISIS DE DIVERGENCIAS

### Monitorización discontinua

Ciclos de autodiagnóstico

#### DIAGNOSTICO DE MAQUINA



FINGERPRINTS AUTODIAGNÓSTICO





## Fingerprint:

Se denomina fingerprint a la extracción de la huella digital de un componente mecánico de la máquina, con el objetivo de identificar su salud o condición de forma precisa y única, El fingerprint obtiene la información realizando una serie de movimientos predefinidos en vacío, denominados ciclos de auto diagnóstico

## Objetivo:

Modelar el deterioro de los componentes de la máquina analizando ciclos ejecutados periódicamente en situaciones determinadas.



Cabezal	El corazón de la máquina
Análisis de vibraciones	
Ejes	Los brazos y las piernas
Test de circularidad Test de Vaiven Test micra a micra	

## Resultados:



Generación automática de informes



Gestión de alarmas



Algoritmos adaptativos



## Metodología

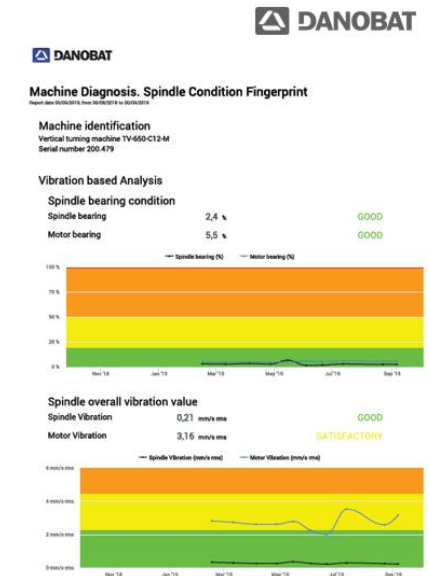
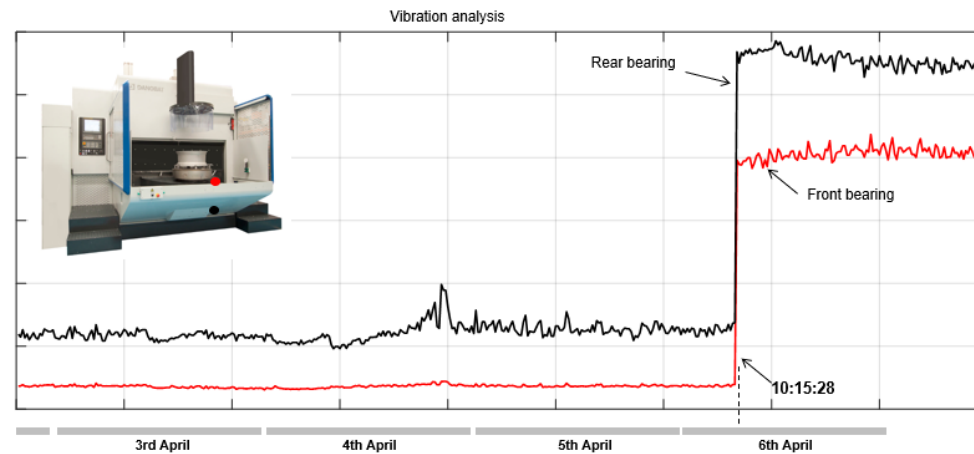
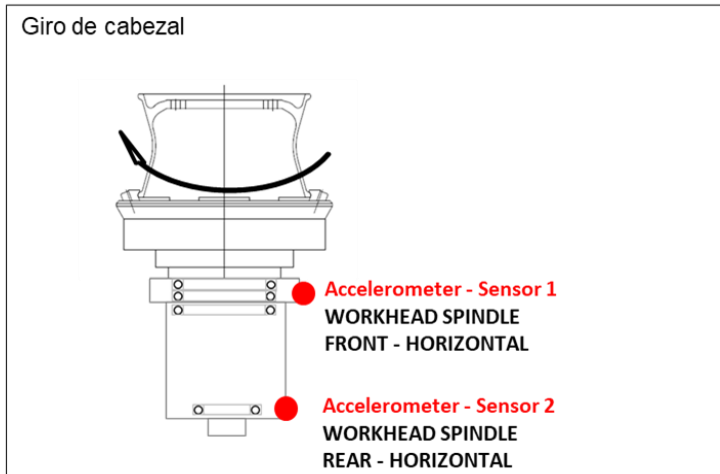
Se basa en el lanzamiento sistemático de forma periódica, de los ciclos de autodiagnóstico. De forma que cada fingerprint identifique de manera única la condición del componente en el tiempo.

De esta forma, el primer fingerprint (de la puesta en marcha) es considerado como **Fingerprint patrón**.

## Condición de cabezal

### Ciclo de condición de cabezales

Test de giro en vacío



## Condición ejes

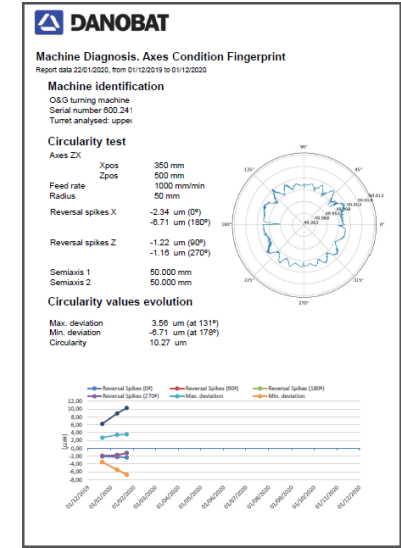
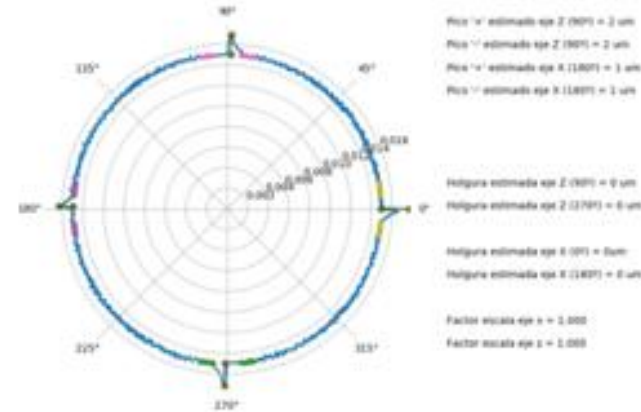
### Test de circularidad:

#### Analysis Results (AR)

- Error de backlash husillo a bolas
- Error por picos de inversión,
- Error stick-slip / fricción
- Error de desajuste del servo / ovalidad

#### Failure Results (FR)

- Análisis espectral
- Estadísticos de cada cuadrante



### Test de vaivén:

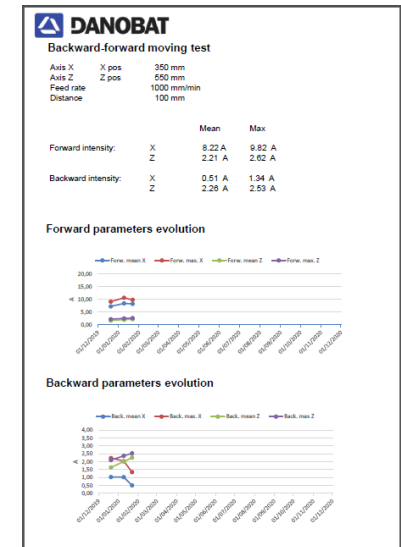
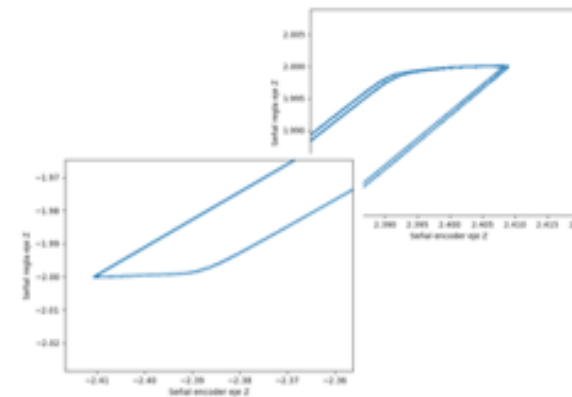
#### Analysis Results (AR)

- Error de backlash husillo a bolas
- Error stick-slip / fricción guías

#### Failure Results (FR)

- Análisis espectral para extraer datos relacionados con elementos mecánicos:
  - Correas
  - Rodamientos apoyo / motor
  - Tuerca

Config.FR



- Herramienta para la visualización de los resultados del histórico de los ciclos de autodiagnóstico de una máquina.
- Permite relacionar los resultados de los análisis con los valores espectrales de la vibración.

## Herramienta de Diagnóstico Avanzado

1- Select Machine: TV650-W4-200449

2- Select Component: Spindle

3- Select Position: -

4- Select Element: NN 3030 K/W33

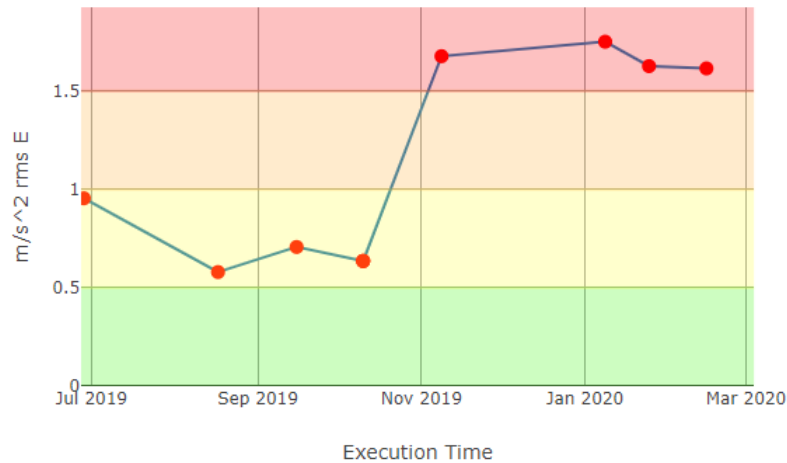
5- Select Analysis: Demodulation

6- Select Failure: BPFO

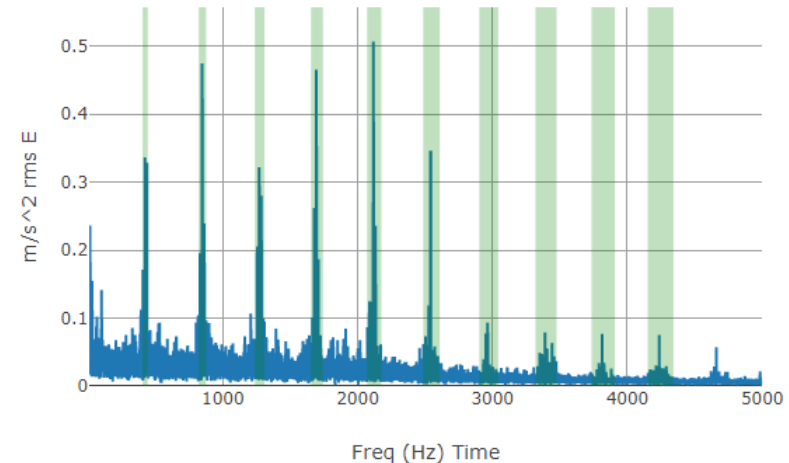
7- Select Band (Hz): 10-5000



Severity Evolution



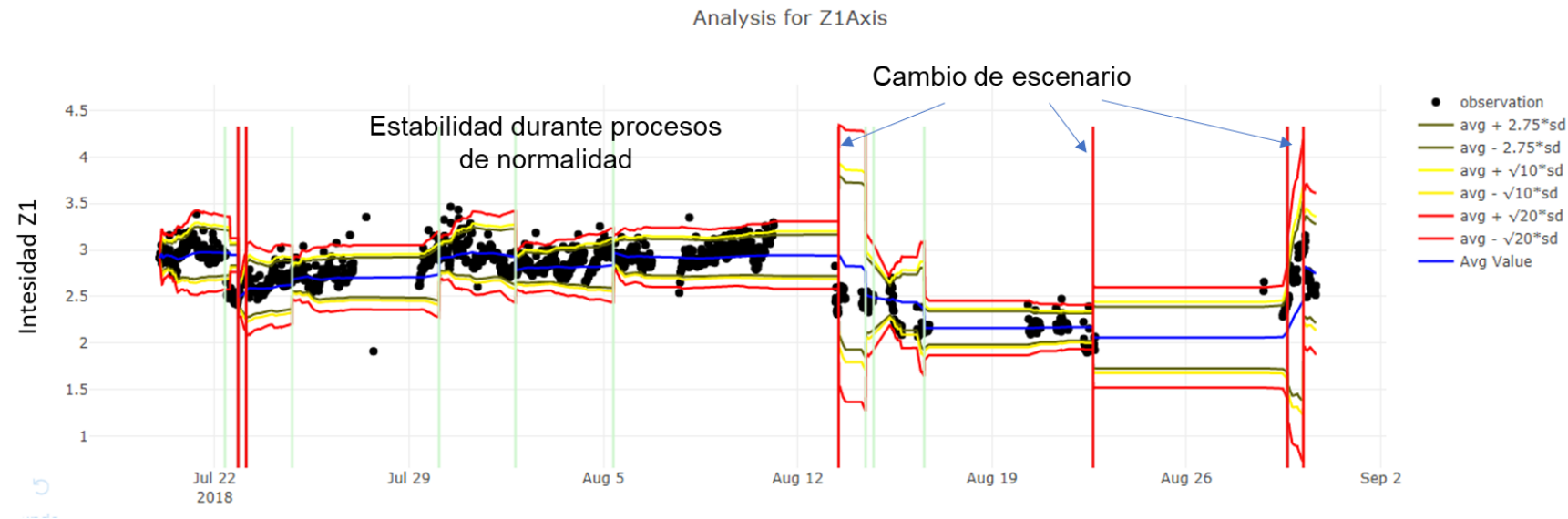
Spectrum for the selected AR (2020-02-15 06:31:23)





## Detección de divergencias, anomalías o cambios de escenario en procesos de mecanizado.

- Una herramienta que es aplicable en procesos de mecanizado de pieza repetitiva.
- Se trata de utilizar un algoritmo para detectar anomalías / divergencias o cambios de escenario.
- Detecta cambios en las frecuencias de vibración máximas durante el mecanizado.
- Se basa en algoritmos de inteligencia artificial. Aprende cual es el funcionamiento normal basándose en datos históricos.



## Software de análisis

Select Date Range

2020-01-01 → 2020-03-04

Select Machine

LG400A-100648 (RECC06) TX

Select Component

Workhead

Select plot

- Machines
- Variation
- Analysis

Last load date: 2020-03-04 08:40:01 (UTC)

Min. Change

A	%	kW	Changes	Days
0,5	5	0,5	3	30

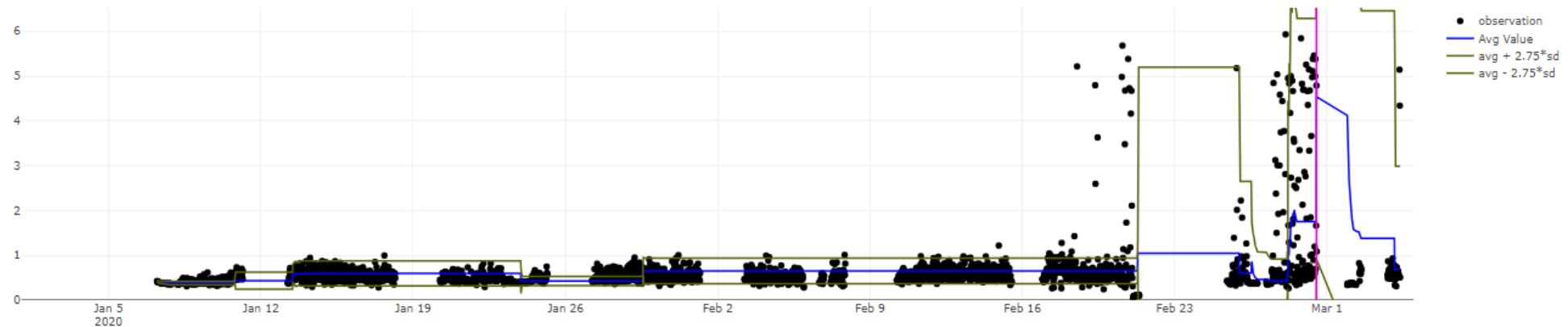
Look Back

Select Analysis

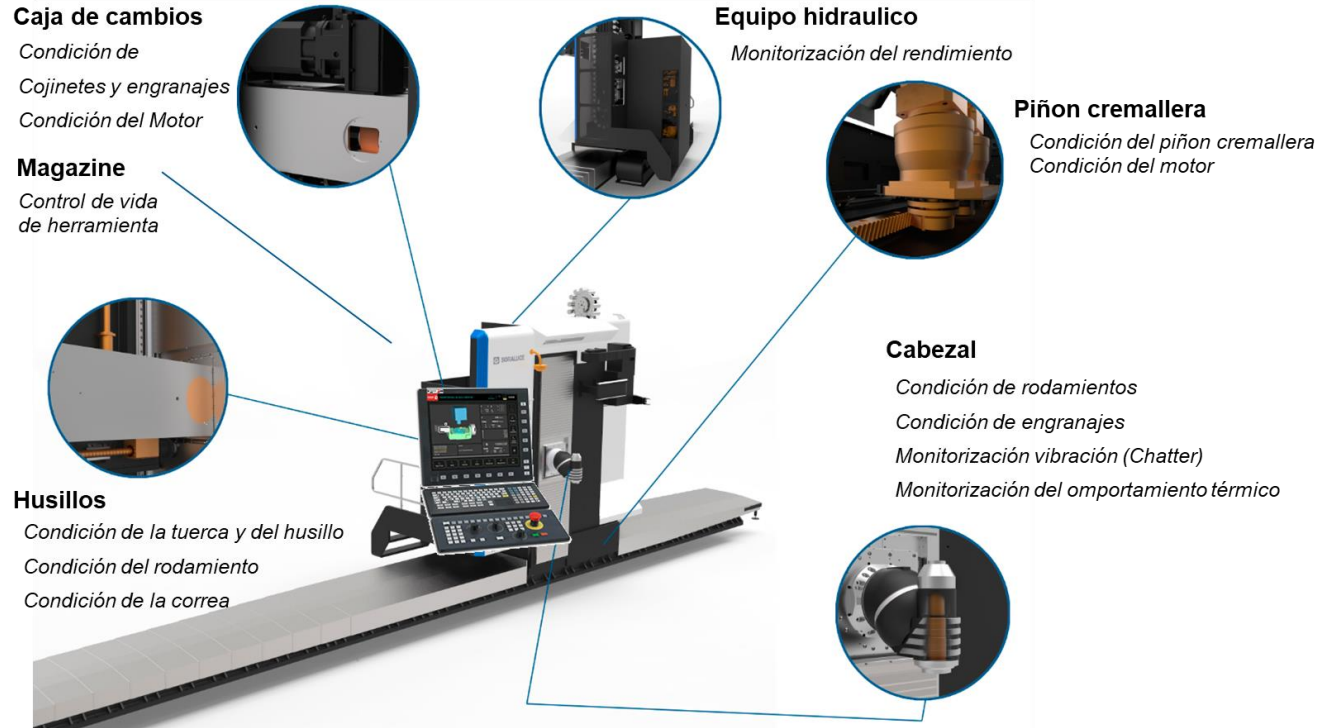
Process: , Status: Interest, Part:



Analysis for WorkheadEngineIntensity\_mean



## La máquina monitorizada



- Técnicas de IA aplicada al **self awareness**.
- Sistemas **conscientes de su estado** y capaces de responder a éste activamente.
- Técnicas de IA para identificar el **contexto operativo**. (Proceso y entorno)
- Sistemas capaces de readaptarse al entorno.
- Técnicas que permitan crear el paradigma de **autopreservación** de activos industriales.

# Terror management

Death awareness  
Self preservation



# Death awareness / Self preservation

Un activo industrial con **conciencia** proporcionada por la IA **que conecta salud y rendimiento** nos brinda el salto al **mantenimiento cognitivo** en el cual la máquina:

1. Tiene cierta conciencia endógena y exógena de manera que es consciente de **que la salud es un recurso limitado** que debe ser administrado dado su carácter finito (**death awareness**)
2. Es capaz de modular los escenarios para cumplir la misión pero imponiendo criterios de preservación de tal manera que el concepto “mission accomplishment” se ve reforzado por activos que además de lograr los objetivos lo harán maximizando la salud durante y después de la operativa planificada (**self preservation**)

Encontrar el óptimo donde la máquina cumple la misión y preserva su salud



Filípides corrió unos **40 kilómetros** que separan a Maratón de Atenas.

Tras cumplir con su misión colapsó y murió extenuado.  
(**run to failure**)



# Dilema existencial básico

- El **deseo de vivir**
- La conciencia de que **la muerte es inevitable**

Visión intramuros: La máquina debe ser consciente de su actividad en conexión con la salud remanente.

Visión extramuros: La máquina tiene que ser capaz de detectar y adaptarse al contexto operativo en el que está operando.

Es necesario dotar a las máquinas de capacidades que les permitan seleccionar escenarios óptimos del binomio

**MISIÓN y SALUD**

# Funcionamientos degradados



Correr los últimos 5 Km de la **Behobia – SS** a un ritmo inferior a la media debido a una lesión.



Permitir Operación de **desbaste** con **regla defectuosa**  
Terminar pieza con **cabezal al límite de salud**.

# Conclusión



## IA en el mantenimiento

ML, NLP, Redes Neuronales, Deep Learning

Búsqueda de patrones, identificar conocimiento oculto, resolver problemas complejos, aprender

Automatizar procesos

## Tecnologías

## Capacidades

## Proposito

## Mantenimiento cognitivo

ML, NLP, Redes Neuronales, Deep Learning, Sentiment analysis

Simular los procesos del pensamiento humano para asistir a las personas en la resolución de problemas

Aumentar capacidades de las personas

**Eskerrik asko!**



**IMIC**  
**INDUSTRIAL MAINTENANCE INNOVATION CONFERENCE**

Javier Arenas [jarenas@aotek.es](mailto:jarenas@aotek.es)  
Gorka Unamuno [gunamuno@ideko.es](mailto:gunamuno@ideko.es)