

## VISUALIZACIÓN INTELIGENTE PARA MAQUINAS- HERRAMIENTA: SOPORTE A LA TOMA DE DECISIONES\*

### *SMART VISUALIZATION FOR MACHINE-TOOLS: SUPPORT FOR DECISION-MAKING*

Laura SANZ , Marta GALENDE ,  
Anibal REÑONES , and Antonio CORRAL 

*CARTIF Centro Tecnológico, Boecillo, Valladolid, España*

{laumar, margal, aniren, antcor}@cartif.es

RESUMEN: Uno de los principales avances que ha surgido a raíz de la implantación de la conocida como Industria 4.0 en las pymes de CastillaLeón es la cada vez mayor disponibilidad de datos relacionados con el funcionamiento de los medios productivos que utilizan. Sin embargo, esta alta disponibilidad de datos no suele ser aprovechada por la empresa de forma sistemática por múltiples razones. Es entonces cuando la empresa detecta la necesidad de disponer de un sistema informático de análisis inteligente de datos que permita transformar los datos que recoge y almacena en información/conocimiento que de soporte a los expertos de dominio en sus procesos de toma de decisiones.

Con el objetivo final de poner en valor los datos disponibles en la industria se busca desarrollar una interfaz gráfica de visualización inteligente de datos que ayude a extraer conocimiento de los mismos. El presente artículo presenta la interfaz gráfica *ad-hoc* generada por Fundación CARTIF <https://www.cartif.>

---

\* La investigación desarrollada en este artículo ha sido financiada por el Fondo Europeo de Desarrollo Regional FEDER a través del proyecto DISRUPTIVE (Dinamización de los Digital Innovation Hubs dentro de la región PocTep para el impulso de las TIC disruptivas y de última generación a través de la cooperación en la región transfronteriza) del Programa Interreg V-A España-Portugal (POCTEP) 2014-2020 (0677\_DISRUPTIVE\_2\_E). Las opiniones son de exclusiva responsabilidad de los autores que las emiten.

es, con el objetivo de explotar los datos disponibles de una máquina-herramienta que está siendo monitorizada en continuo. Dicha interfaz permitirá a personal no experto en el análisis inteligente de datos, visualizar de forma sencilla los datos asociados a una máquina-herramienta para así detectar fácilmente las tendencias, los valores atípicos y los patrones en los datos.

**PALABRAS CLAVE:** industria 4.0; visualización inteligente; máquina; herramienta.

**ABSTRACT:** One of the main advances that has arisen as a result of the implementation of what is known as Industry 4.0 in SMEs in Castilla-León is the increasing availability of data related to the operation of the production means they use. However, this high availability of data is not usually taken advantage of by the company in a systematic way for many reasons. This is when the company detects the need for a computer system for intelligent data analysis that allows transforming the data it collects and stores into information/knowledge that supports the domain experts in their decision-making processes. With the ultimate goal of making the most of the data available in the industry, the aim is to develop a graphical interface for intelligent data visualization that helps to extract knowledge from data. This article presents the ad-hoc graphic interface generated by CARTIF with the aim of exploiting the data available from a machine-tool that is being continuously monitored. This interface will allow non-experts in intelligent data analysis to easily visualise the data associated with a machine-tool in order to easily detect trends, outliers and patterns in the data.

**KEYWORDS:** industry 4.0; smart visualization; machine-tool.

## 1 Introducción

Se conoce con el nombre de Análisis Inteligente de Datos a aquellos procesos basados en analizar diversas fuentes de datos, transformarlas en información y extraer el conocimiento útil, válido y relevante que puedan contener. Dentro del dominio de la Industria 4.0 estos procesos de extracción de conocimiento están siendo aplicados con éxito por diversas empresas que buscan mejorar sus procesos de fabricación y dar un valor añadido a su actividad [2, 1, 6, 3].

Una de las formas más eficientes para que los datos almacenados por el sector industrial se conviertan en información valiosa es encontrar la forma correcta de visualizarlos. De esta forma cualquier persona del equipo de trabajo será capaz de interpretarlos, sacar conclusiones de ellos y tomar decisiones que ayuden a aumentar la eficiencia operativa de la empresa [9, 7].

Con esta idea en mente, dentro del proyecto DISRUPTIVE (0677\_DISRUPTIVE\_2\_E <https://disruptive.usal.es>), se ha llevado a cabo un caso de uso centrado en desarrollar una interfaz de visualización inteligente con gráficos sencillos de entender, que pueda ser utilizada por el personal de una empresa del sector industrial para extraer información/conocimiento de los datos que están siendo almacenados y que, por distintas razones, no son puestos en valor. En concreto, el caso de uso aquí presentado se centra en estudiar el comportamiento de una máquina-herramienta [8] operada mediante control numérico a través del análisis de los datos asociados a la misma, tanto de fabricación (qué piezas mecaniza la máquina) como de monitorización en continuo (cómo lo hace).

Para validar el desarrollo realizado se utilizan datos procedentes de máquina-herramienta propiedad de Industrias Maxi, <https://www.industrias-maxi.es>, una empresa que dispone de un área de mecanizado dedicada a fabricar piezas tanto para clientes externos (en sectores como automoción, agrario y artes gráficas principalmente) como para las estructuras de sus máquinas especiales que desarrollan para sus proyectos llave en mano (utillajes, automatización y soluciones integradas). Actualmente el parque de máquinas-herramienta disponibles en la empresa está formado por 12 fresadoras (de las cuales se han seleccionado 2) y 6 tornos de diferentes fabricantes, tamaño y antigüedad.

Aplicar estas técnicas a este tipo de máquinas constituye un reto debido a que su forma de trabajo es muy variable por no usarse para fabricar en serie la misma pieza sino una gran variedad de las mismas como moldes de embutición o utillaje a medida.

El resto del artículo se organiza como sigue: las secciones 2 y 3 presentan los objetivos generales y la metodología aplicada en el desarrollo de la interfaz gráfica respectivamente. La sección 4 presenta el caso de uso concreto que ha inspirado el desarrollo mientras que la sección 5 presenta las interfaces de visualización inteligente desarrolladas en este caso de uso. Finalmente la sección 6 presenta las principales conclusiones obtenidas.

## 2 Exploratory Data Analysis: motivación y metodología

A la hora de abordar proyectos enfocados a extraer conocimiento de los datos (*Knowledge Discovery from Data*) saber realizar un buen análisis exploratorio de datos (*Exploratory Data Analysis*) es fundamental. Esta tarea inicial centrada en comprender los datos va a permitir al analista de datos familiarizarse con los datos, identificar problemas de calidad en los mismos, describir conocimiento preliminar y formular hipótesis relacionados con la posible información oculta en los datos.

Sin embargo, para poder aprovechar al máximo los resultados de este estudio inicial de los datos es imprescindible el soporte de los expertos de dominio, en nuestro caso del personal directamente involucrado en la fabricación de piezas mediante máquina-herramienta. Aparece entonces la necesidad de disponer de herramientas e interfaces gráficos que estos expertos de dominio, no expertos en el tratamiento de datos, puedan utilizar de forma sencilla.

El objetivo principal de este caso de uso es proporcionar herramientas de visualización de datos provenientes de máquinas-herramienta basadas en CNC (control numérico por computadora), que den soporte digital al trabajo inicial que deben realizar conjuntamente los expertos de dominio y los expertos en análisis de datos en los proyectos en los que se realiza Análisis Inteligente de Datos. Para poder alcanzar este objetivo principal se propusieron los siguientes objetivos específicos:

- O1 Analizar todas aquellas variables del entorno de una máquinas-herramienta que sean medibles y pudieran estar directamente relacionadas con los diferentes modos de funcionamiento/fallo de la máquina.
- O2 Aplicar distintas técnicas de tratamiento y pre-procesamiento de datos que permitan obtener un conjunto de datos útil y de calidad para su posterior visualización.
- O3 Desarrollar una herramienta de visualización de datos que permita identificar, de forma sencilla y visual, los patrones en los datos con los diferentes tipos de funcionamiento y las alteraciones/anomalías con los diferentes tipos de fallo.

La metodología de trabajo planteada en este caso de uso englobó la realización de las siguientes acciones:

- A1 *Selección de datos*. Actividad destinada a seleccionar todas las fuentes de información disponibles relacionadas con el uso y funcionamiento de una máquina-herramienta. Se seleccionan señales provenientes tanto de la propia máquina (consumo eléctrico, velocidad angular, velocidad de avance, etc) como de su uso (tiempos de inicio y parada, tipo de actividad/tarea/incidencia, etc.) que permitan ofrecer información del estado de salud, en este caso de la herramienta.
- A2 *Preparación de los datos*. Actividad destinada a fusionar las distintas fuentes de información disponibles, homogenizando los formatos de los datos y resolviendo las posibles incoherencias que pudieran aparecer.
- A3 *Generación ad-hoc de gráficos*. Se analizan los distintos tipos de gráficos disponibles más comúnmente utilizados, seleccionando en cada caso el más conveniente (sencillo e interpretable) según el objetivo perseguido y las características propias de la variable analizada.

---

#### COMPRENDER LOS DATOS

---

	Tipo de variable	Tipo de gráfica
Cualitativa	Menos de 5 categorías	Gráfico circular
	Entre 5 y 25 categorías	Gráfico de barras
	Más de 25 categorías	Tabla de frecuencias
Cualitativa VS Cualitativa	Menos de 15 categorías en ambas variables	Gráfico de barras apiladas
	Más de 15 categorías en al menos una de las variables	Tabla de frecuencias
Cuantitativa	(todas)	Diagrama de caja Histograma
	Serie temporal	Gráfico de series temporales

---

#### CALIDAD DE LOS DATOS

---

	<b>Tipo de variable</b>	<b>Tipo de gráfica</b>
Cualitativa	(todas)	Gráfico de barras Mapa de calor
Cuantitativa	(todas)	Gráfico de barras Mapa de calor
	Serie temporal	Diagrama de caja

Tabla 1. Propuesta de gráficas a generar según actividad y tipo de variable.

*A4 Interfaz de visualización.* Desarrollo de una herramienta de visualización inteligente de los datos.

### 3 Generación ad-hoc de gráficas: propuesta

Como se ha mencionado previamente, uno de los objetivos propuestos en este caso de uso es el de definir, en función del tipo y la cantidad de variables que se quiera analizar, el tipo de gráfico más adecuado que deberá mostrarse en la interfaz de visualización inteligente para que cualquier usuario final pueda interpretarlo fácilmente. A su vez, el tipo de gráfico dependerá también del objetivo perseguido, distinguiendo entre comprender los datos o determinar la calidad del conjunto de datos disponible.

Tras analizar los principales tipos de gráficos disponibles y los más comúnmente utilizados [4, 5] se seleccionaron aquellas representaciones visuales que resultaron ser más conveniente para nuestro caso de uso, por su sencillez de interpretación. La Tabla 1 muestra la propuesta concreta realizada para el caso de uso que nos ocupa, en función del objetivo perseguido y del número de variables implicadas en el análisis. Posteriormente en la sección 5 se mostrarán algunas pantallas de ejemplo relacionadas con estas gráficas.

#### 4 Caso de estudio: máquina-herramienta

La interfaz inteligente de visualización descrita en este artículo se ha validado utilizando datos provenientes de máquinas-herramienta propiedad de Industrias Maxi. Más concretamente se trata de dos máquinas-herramienta MAZAK VTC 800 de 10 años de antigüedad que se utilizan para realizar piezas seriadas y utillaje, y a las que denominaremos MAZAK-1 y MAZAK-2 de ahora en adelante<sup>1</sup>. Una de estas máquinas-herramienta, MAZAK-1, están siendo monitorizadas en continuo a través de sondas efecto hall que permiten medir el consumo eléctrico requerido por los cinco motores que guían los movimientos de la herramienta en sus ejes X, Y, Z, B y S. Estos ejes de movimiento suelen estar presentes en la mayoría de las máquinas-herramienta basadas en CNC (control numérico por computadora), por lo que la metodología aquí aplicada es fácilmente extrapolable a otras empresas que dispongan de máquinas-herramienta similares.

Actualmente se dispone de dos fuentes de información principales relacionadas con las máquinas-herramienta mencionadas (2):

- **Datos de fabricación:** son datos relacionados con el tipo de pieza fabricada en cada momento por la máquina. Entre otros datos se almacenan la fecha y hora inicial y final del proceso, su tipo, referencia, cliente, o incluso el identificador del operario. Este tipo de datos están disponibles en ambas máquinas-herramienta, MAZAK-1 y MAZAK-2.
- **Datos de monitorización:** son datos en streaming (5000Hz) que son procesados para obtener un valor cada 2 segundos, relacionados con el consumo eléctrico de los motores en los cinco ejes de movimiento (X,Y,Z,B,S). Concretamente se monitorizan el valor RMS de la intensidad de corriente ( $I_{RMS}$ ), medida en Amperios (A), y la frecuencia de la corriente ( $f$ ), medida en Hercios (Hz). Según los expertos de dominio estas son las medidas que podrían verse alteradas en el caso de que la máquina herramienta sufra un fallo. Este tipo de datos están disponible solo para la máquina-herramienta MAZAK-1.

---

<sup>1</sup> Datos obtenidos gracias al proyecto MEDEA4.0 “Modelo predictivo de diagnóstico y optimización de la vida útil remanente en máquina-herramienta aplicado al sector de automoción” financiado por el Ministerio de Industria, Comercio y Turismo, exp. AEI-010500-2018-15.

La tabla 2 muestra el número de variables disponibles en cada caso, así como su tipo y su número, una vez realizada la selección de datos y el preprocesado inicial de los mismos (eliminando del estudio aquellas variables que no contienen valores o que tienen un valor constante y resolviendo las incoherencias). Todos los datos han sido registrados entre marzo de 2019 y febrero de 2021.

## 5. Smart Visualization: interfaz de visualización

Se presenta a continuación la interfaz visual implementada que va a permitir a los responsables de fabricación de una máquina-herramienta interpretar fácilmente las grandes cantidades de datos disponibles. Para ello se han desarrollado gráficos interactivos que ayudan al usuario final a interactuar con los datos para obtener información/conocimiento de los mismos.

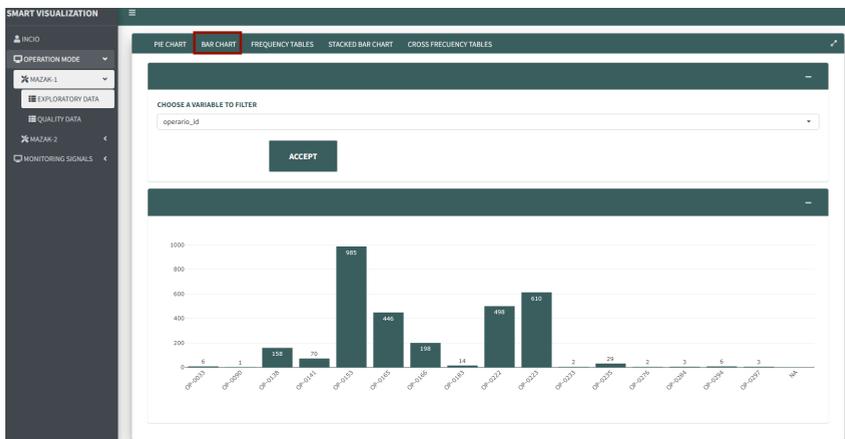
DATOS DE FABRICACIÓN		MAZAK-1	MAZAK-2
Tipo	Nombre	#registros	#registros
Cualitativas	<i>Plano, Calidad, Operario, OPJP, Material, Actividad</i>	3031	3040
Cuantitativas	<i>NMaquinas</i>		
DATOS DE MONITORIZACIÓN		MAZAK-1	MAZAK-2
Tipo	Nombre	#registros	#registros
Cuantitativas	<i>I.RMS<sub>X</sub>, I.RMS<sub>Y</sub>, I.RMS<sub>Z</sub>, I.RMS<sub>B</sub>, I.RMS<sub>S</sub>, f<sub>X</sub>, f<sub>Y</sub>, f<sub>Z</sub>, f<sub>B</sub>, f<sub>S</sub></i>	3862655	0

Tabla 2. Máquinas-herramienta: variables disponibles.

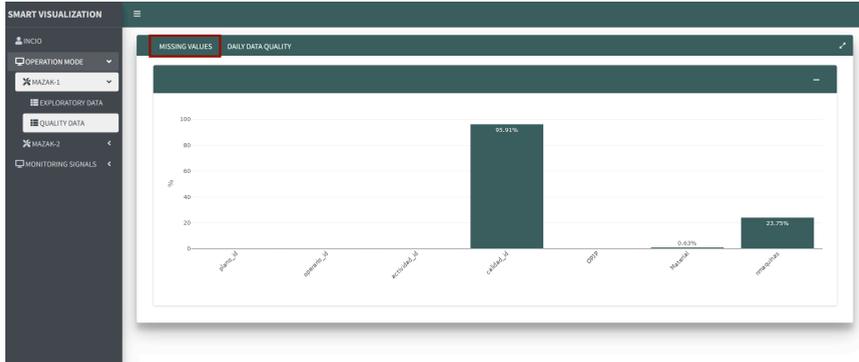
Para diseñar y desarrollar la interfaz gráfica se ha utilizado el lenguaje de programación R, usando RStudio como entorno de desarrollo integrado. Más concretamente, la aplicación web se ha desarrollado utilizando el paquete Shiny y librerías como *plotly* <https://plotly.com/> y *echarts4r* <https://echarts4r.john-coene.com/>

En primer lugar se implementan las gráficas asociadas a los datos de fabricación (*OPERATION MODE*) de las máquinas-herramienta, aplicando la propuesta presentada en 3. La Figura 1 muestra un ejemplo de las gráficas generadas en este caso, en concreto:

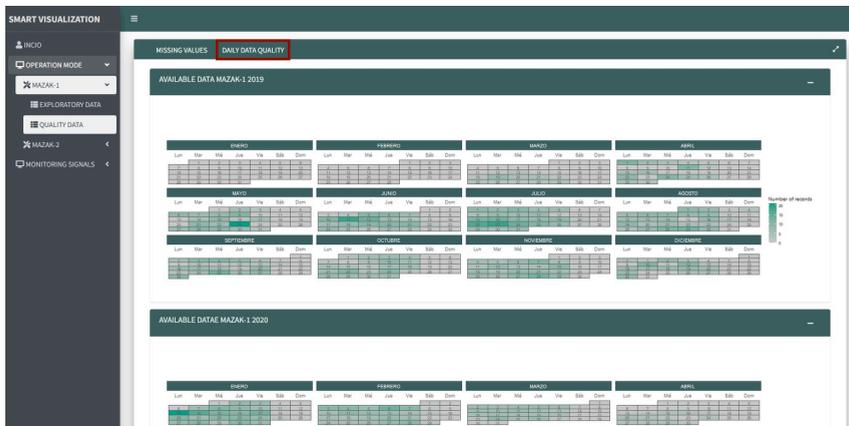
- gráfico de barras generado sobre una variable cualitativa (*Operario*) que tiene entre 5 y 25 categorías. Este tipo de gráficas le permite al usuario entender lo que representa el dato graficado y conocer los valores concretos que toma la variable.
- gráfico de barras representando el porcentaje de valores perdidos (*MIS-SING VALUES*) en todo el conjunto de datos, como métrica asociada a su calidad. En general aquellas variables con un alto porcentaje de valores perdidos se consideran variables de baja calidad y no deberían ser utilizadas para realizar tareas de modelado a partir de datos.
- mapa de calor, en forma de calendario, representando la cantidad diaria de datos disponibles (*DAILY DATA QUANTITY*), también como métrica asociada a la calidad de los datos. En este sentido cualquier conocimiento extraído a partir del análisis realizado tendrá más credibilidad cuanto mayor sea la cantidad de datos disponibles y más uniformemente distribuidos en el tiempo estén. Esta propiedad es realmente interesante sobre todo al analizar datos en continuo.



(a) Gráfico de barras



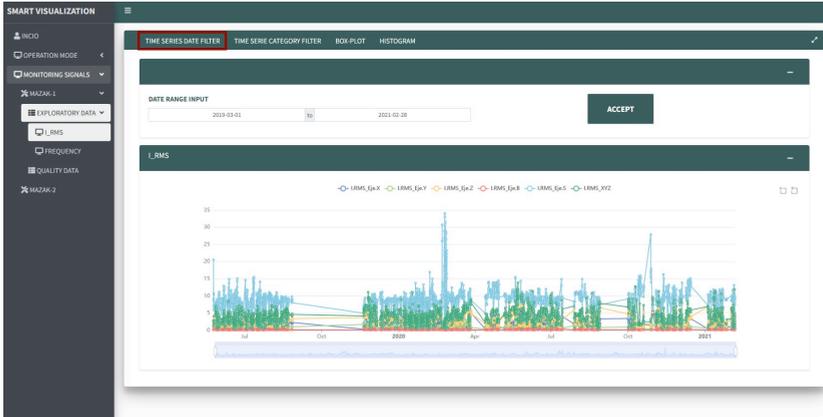
(b) Gráfico de barras: valores perdidos



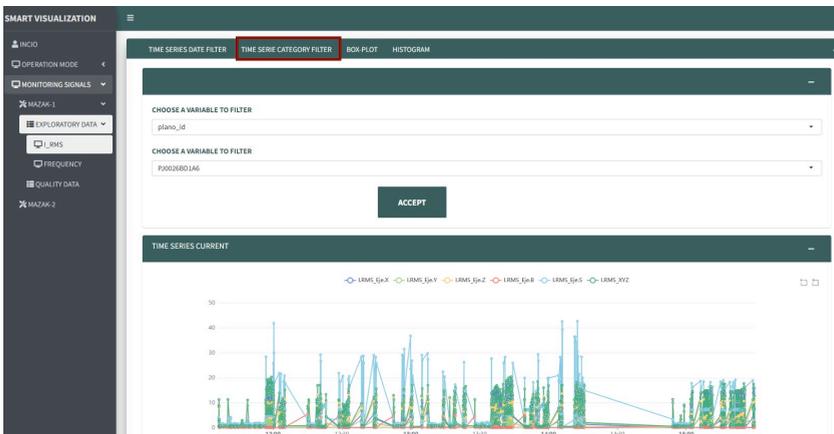
(c) Mapa de calor

Fig. 1. Herramienta de visualización. Datos de fabricación.

Por otro lado, para la visualización de los datos de monitorización (*Monitoring Signals*) se implementan gráficas interactivas de series temporales, sobre las que el usuario puede aplicar distintos criterios de filtrado, diagramas de caja e histogramas. La Figura 2 muestra un ejemplo de las gráficas generadas en este caso.



(a) Serie temporal filtrada por fecha.



(b) Serie temporal filtrada por valor de Plano

Fig. 2. Herramienta de visualización. Datos de monitorización.

Por último, con la finalidad de poder analizar la calidad de los datos, la herramienta ofrece la posibilidad de visualizar tanto la cantidad de datos diario como la frecuencia de actualización de dichos datos, utilizando mapas de calor en forma de calendario y diagramas de caja respectivamente. La Figura 3 muestra un ejemplo de estos últimos.

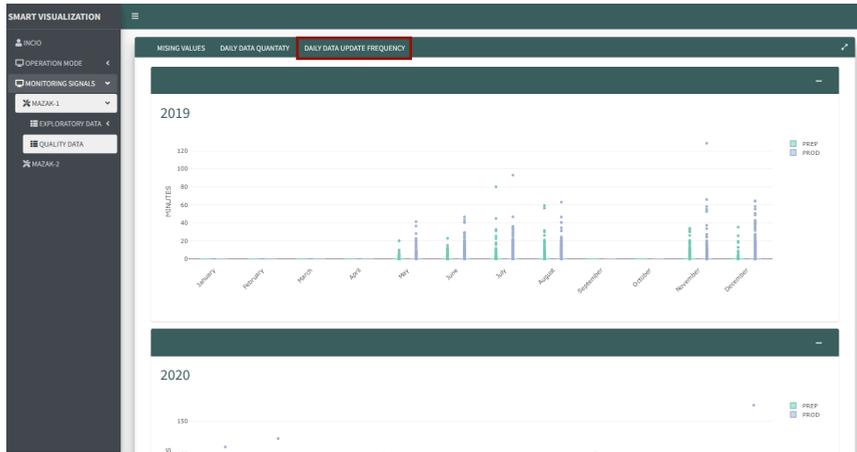


Fig. 3. Herramienta de visualización. Frecuencia de actualización de datos de monitorización.

## 7 Conclusiones

El principal objetivo del caso de uso aquí presentado, y que forma parte del proyecto DISRUPTIVE, es dotar al usuario final de una herramienta de visualización con la que pueda interactuar y visualizar de forma sencilla y clara los datos que son almacenados por las empresas a lo largo del tiempo y que muchas veces no son puestos en valor. Se quiere demostrar que mejorar las interfaces de visualización de datos, haciéndolas más inteligentes y autónomas, es fundamental para dar un buen soporte a los procesos de toma de decisiones. El presente artículo ha presentado, de forma resumida, como se ha llevado a cabo la implementación del caso de uso dentro de una empresa como Industrias Maxi, propietaria de varias máquina-herramienta, presentando la metodología general desarrollada y los resultados obtenidos. Se ha desarrollado una interfaz gráfica inteligente capaz de generar distintos tipos de gráficos sencillos y fáciles de interpretar, que permiten al usuario tomar decisiones disponiendo de la mayor cantidad de información posible, incluyendo una medida de calidad de dicha información. La interfaz gráfica desarrollada es directamente extrapolable a otras máquinas-herramienta de la empresa, y con pequeñas adaptaciones, a cualquier otra máquina o procesos de la empresa en el que se recopilen datos.

## Referencias

1. Çınar, Z.M., Nuhu, A.A., Zeeshan, Q., Korhan, O., Asmael, M., Safaei, B.: Machine learning in predictive maintenance towards sustainable smart manufacturing in industry 4.0. *Sustainability* 12(19), 8211 (oct 2020). <https://doi.org/10.3390/su12198211>
2. Dogan, A., Birant, D.: Machine learning and data mining in manufacturing. *Expert Systems with Applications* 166, 114060 (mar 2021). <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2020.114060>
3. Gertosio, C., Dussauchoy, A.: Knowledge discovery from industrial databases. *Journal of Intelligent Manufacturing* 15(1), 29-37 (feb 2004). <https://doi.org/10.1023/b:jims.0000010073.54241.e7>
4. Kabacoff, R.: *Data Visualization with R*. Opensurce (2020), <https://rkabacoff.github.io/datavis/>
5. Kabacoff, R.: *R in Action*. Manning (2015), [https://www.ebook.de/de/product/20661820/robert\\_kabacoff\\_r\\_in\\_action.html](https://www.ebook.de/de/product/20661820/robert_kabacoff_r_in_action.html)
6. Lenz, J., Wuest, T., WestkÄmpfer, E.: Holistic approach to machine tool data analytics. *Journal of Manufacturing Systems* 48, 180-191 (jul 2018). <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2018.03.003>
7. Myatt, G.: *Making sense of data : a practical guide to exploratory data analysis and data mining*. Wiley-Interscience, Hoboken, N.J (2007).
8. Tlusty, J.: *Manufacturing processes and equipment*. Prentice-Hall, Upper Saddle River, NJ (2000).
9. Zhou, F., Lin, X., Liu, C., Zhao, Y., Xu, P., Ren, L., Xue, T., Ren, L.: A survey of visualization for smart manufacturing. *Journal of Visualization* 22(2), 419-435 (nov 2018). <https://doi.org/10.1007/s12650-018-0530-2>

