
Digitalización de equipos de convertidores de frecuencia y uso del Centro ABB de Servicios Avanzados

Mario Serrano Rodríguez¹

¹ ABB, Universidad Pontificia de Comillas - ICAI
E-mail: 201403497@alu.comillas.edu

Resumen

Este proyecto se centra en la digitalización de variadores de frecuencia fabricados por ABB, uno de los elementos fundamentales en muchos procesos industriales que requieren el uso de motores eléctricos. Esta digitalización consiste, entre otras cosas, en recopilar datos en tiempo real de los equipos para darles un uso (como su mantenimiento preventivo o análisis de fallos). El objetivo principal de este proyecto no incluye el desarrollo de software ni hardware, sino potenciar y sacar el máximo partido a esas tecnologías ya desarrolladas. El proyecto se centrará la digitalización de los equipos conectados en el territorio español, para así hacer ver al cliente el valor añadido que supone esta tecnología. Para ello, se han realizado 4 tareas principales: familiarización con las herramientas de digitalización ya desarrolladas; análisis de datos recopilados para prevenir fallos y averías; realización de propuestas de mejora del sistema y seguimiento periódico de los equipos digitalizados. Todas estas tareas fueron realizadas satisfactoriamente, obteniendo resultados tangibles: se ha comenzado a realizar cambios en las plataformas de digitalización, obteniendo mejoras analizadas en las estadísticas de uso de las mismas; los clientes de estos servicios han dado un feedback positivo y han ampliado los contratos y, por último, los datos recopilados por las herramientas de digitalización han servido para establecer un sistema capaz de prevenir fallos y paros en la producción antes de que ocurran. Como conclusión, se puede afirmar que gracias a lo anteriormente mencionado se ha impulsado la digitalización de variadores de frecuencia de ABB en España.

Palabras clave: digitalización; variador; frecuencia; VFD; monitorización; mantenimiento; ABB

1. Introducción

En los últimos años, el mundo de la industria se ha visto modificado y mejorado fuertemente por la transformación digital. Cada vez escuchamos más frecuentemente los términos IoT, big data, fabricación aditiva o machine learning en el ámbito industrial.

Esta transformación digital, llamada de muchas maneras (industria conectada, industria 4.0 o cuarta revolución industrial), siempre bien aplicada y de manera coherente, supone un buen valor añadido a las empresas, por lo cual irá tomando un papel cada vez más fundamental.

Este proyecto no es más que otra de las muchas maneras de promover e implementar estos cambios en la industria. En este caso, nos centraremos en los variadores de frecuencia. Los variadores de frecuencia son uno de los elementos fundamentales en muchos procesos industriales que requieran el uso de motores eléctricos, e implementar técnicas de digitalización en ellos puede suponer un gran valor añadido y una mejora en general de la actividad industrial a desempeñar.

El proyecto se ha desarrollado en ABB, uno de los principales fabricantes de variadores de frecuencia en el mundo y con fuerte presencia en España. Para implementar técnicas de industria conectada en este producto, se están desarrollando y mejorando continuamente varias herramientas, las cuales serán explicadas más adelante.

2. Estado de la cuestión

No se puede determinar una fecha exacta del comienzo de la Cuarta Revolución Industrial, ya que esta etapa comprende una serie de técnicas y herramientas muy diversas, las cuales se han ido introduciendo en la industria paulatinamente.

Sin embargo, sí se sabe cuándo se utilizó por primera vez el término Industria 4.0, y es en la Feria de Hannover del año 2011. Esta exposición es el evento tecnológico industrial más grande del mundo [1], se realiza anualmente y a día de hoy, atrae a más de 6.000 expositores y 200.000 visitantes. Son muchas las nuevas tecnologías en las que se basa la industria 4.0 (o industria conectada). Si tuviéramos que englobar todas ellas en 4 pilares fundamentales, estos serían

los siguientes: IIoT (Industrial Internet of Things), inteligencia artificial, computación en la nube y sistemas ciberfísicos.

A continuación, se expondrán algunos de los casos más exitosos de aplicación de tecnologías de la industria conectada [2]:

- **Fábrica del futuro de Airbus:** debido a la complejidad que requiere la manufactura de aeronaves, Airbus ha desarrollado una fábrica provista de la última tecnología en industria conectada que permite que estos procesos sean más eficientes y menos erráticos. La compañía ha dispuesto sensores inteligentes a lo largo de toda la fábrica (máquinas, suelo, herramientas...) y dotado a los trabajadores de “wearables” (entre los que se incluyen gafas inteligentes de realidad aumentada). Como resultado, en uno de los procesos de la fábrica, estas tecnologías permitieron una mejora del 500% en productividad.
- **Almacenes inteligentes de Amazon:** de entre toda la tecnología que han ido incorporando, destaca notablemente la inclusión de los robots móviles autónomos (AGVs). Los cuales se encargan de transportar material por todo el almacén sin necesidad alguna de supervisión humana. En 2014, el uso de robots en los almacenes supuso un ahorro del 20% en los costes de operación.
- **Bosch y su tecnología track and trace:** esta tecnología fue implementada debido a que se analizó que los operarios empleaban una cantidad de tiempo notoria buscando distintos tipos de herramientas que necesitaban para su trabajo. Para evitar esto, la compañía decidió instalar sensores conectados en las herramientas de los trabajadores para que fueran fácilmente localizables, lo cual fue un éxito y redujo los tiempos de fabricación.

En la empresa en la que se desarrolla este proyecto, ABB, ya hay desarrolladas distintas aplicaciones relacionadas con la industria conectada. Entre ellas destacan las desarrolladas en el área de robótica, como los sensores inteligentes presentes en los robots de la compañía. Estos sensores ayudan a realizar un mantenimiento predictivo de los equipos, pudiendo así actuar y realizar mantenimiento antes de que el robot se rompa o dé algún fallo.

A su vez, destacan las soluciones desarrolladas en el ámbito de robots colaborativos (cobots), como el YuMi, o los recientemente incorporados al catálogo GoFa y SWIFTY. Estos equipos permiten disponer de uno o varios brazos robóticos en la misma área de trabajo que las personas, ayudando en tareas manuales que desempeñen los operarios. Para que esto sea posible, los robots colaborativos cuentan con un amplio despliegue de sensores que se encargan de evitar colisiones peligrosas con cualquier parte del cuerpo de la persona junto a la que estén trabajando. Además, la velocidad máxima de los robots está limitada por software, ya que unas velocidades tan altas como las de los robots industriales convencionales serían demasiado peligrosas en un entorno colaborativo, incluso con la presencia activa de los sensores mencionados.

Este proyecto se va a centrar en la aplicación de la industria conectada en variadores de frecuencia a través de su digitalización. Sin embargo, a fecha de hoy, no hay desarrollado ningún proyecto significativo de esta índole en ninguna otra empresa, siendo ABB, por lo tanto, una de las empresas pioneras en lo que a digitalización de variadores de frecuencia respecta.

3. Objetivos del proyecto

El objetivo principal, entonces, es potenciar y sacar el máximo partido a esas tecnologías ya desarrolladas, centrándose en el territorio español y en los equipos conectados en España, para así, hacer ver al cliente el valor añadido que supone esta tecnología. Para que los clientes estén satisfechos con el servicio y la tecnología de digitalización adquiridos, es importante hacerles entender los beneficios que ésta puede aportar.

Por lo tanto, para conseguir este objetivo principal, los objetivos secundarios en los que el proyecto se divide son los siguientes:

- Aprender las funciones de las herramientas y apps de digitalización ya desarrolladas. Más adelante, se explicarán cuáles son estas herramientas y como contribuyen a la digitalización de variadores de frecuencia.
- Se intentará hacer uso de los datos almacenados de los equipos de cara a obtener resultados tangibles que ayuden a los clientes a evitar posibles fallos y paros en la producción.
- Analizar posibles mejoras en el sistema. Pese a que el proyecto no incluya el desarrollo de la tecnología, el análisis de esta y la propuesta de posibles mejoras será importante para crear un mayor valor añadido en los productos y una mayor apreciación de las herramientas proporcionadas a los clientes.
- Supervisar los equipos ya conectados en España. La supervisión de estos equipos ha comprendido la realización de informes periódicos informando a los clientes del estado de sus variadores de frecuencia.

4. Herramientas de digitalización

Los principales activos de este proyecto son cada una de las herramientas sobre las que se ha trabajado para conseguir los objetivos del proyecto.

Estas herramientas son aplicaciones a las que se accede a través de un navegador web o una app para smartphones. Son de acceso restringido a los trabajadores de ABB, así como a los clientes hayan contratado los servicios de digitalización.

A continuación, se hará una descripción de cada una de ellas.

4.1. Condition monitoring

Condition Monitoring es la plataforma principal de digitalización de variadores de frecuencia en ABB [3]. En ella, tanto clientes como trabajadores de ABB son capaces

de ver en tiempo real y en histórico distintos parámetros y datos de los variadores de frecuencia conectados a este servicio (estos parámetros son medidas como intensidad, tensión, frecuencia, par aplicado, temperatura... y eventos puntuales como el registro de un fallo o un aviso). Además, este portal web permite recibir notificaciones sobre el registro de fallos o niveles muy altos de algunos de los parámetros ya mencionados, así como descargar informes generados automáticamente que informen sobre el estado del equipo. Por último, también se puede consultar el estado del mantenimiento preventivo de los equipos, que consiste en la sustitución de algunos componentes de manera periódica.

4.2. Drivetune

Drivetune es una aplicación para smartphones (Android y iOS) que permite al usuario conectarse con móvil a un convertidor de frecuencia de ABB a través de una conexión Bluetooth, siempre y cuando el equipo cuente con un panel de control Bluetooth [4].

4.3. Mobile Connect

Esta herramienta permite el mantenimiento, puesta en marcha y configuración de un convertidor de frecuencia de manera totalmente remota y en tiempo real [5]. Para ello, un técnico situado en la fábrica del variador debe conectarse por bluetooth al equipo con su smartphone a través de Drivetune. Una vez hecho esto, a través de Internet se establece una conexión con el técnico cualificado de ABB, que puede encontrarse en cualquier lugar (como por ejemplo las oficinas de ABB). Todo ello queda resumido en el siguiente esquema:



Ilustración 1: Esquema de conexiones de Mobile Connect

5. Uso de los datos almacenados de los equipos

Una vez comprendido el funcionamiento de estas herramientas, se llegó a la conclusión de que se podría obtener alguna utilidad de los datos almacenados de los equipos ya digitalizados. Para ello, se realizó un profundo análisis de estos datos y se implementaron una serie de mejoras que se describirán a continuación.

5.1. Obtención y descripción de datos

Para poder trabajar con una base de datos real de la flota completa de equipos digitalizados, fue necesaria pedirla al equipo de desarrollo de la herramienta, compuesto por empleados de ABB que se encuentran mayoritariamente en Finlandia.

La información obtenida consistió en un archivo .csv por cada convertidor de frecuencia. Dentro de cada uno de estos archivos, cada fila tiene un timestamp determinado y el

valor registrado en ese momento de los siguientes parámetros: intensidad de salida, intensidad de entrada, tensión aplicada, tensión de alimentación, frecuencia de alimentación, frecuencia de salida, temperatura ambiente, temperatura de los IGBTs y par aplicado al motor. A su vez, cada fila también tiene un booleano (0,1) por cada fallo y cada aviso (estos fallos están estandarizados y tienen su codificación propia). Cuando salta un fallo, el booleano correspondiente se pone a 1 en la fila con el timestamp correspondiente al instante en el que salta.

Viendo la naturaleza de estos datos, se decidió que lo más útil sería intentar encontrar una correlación entre alguno de los parámetros obtenidos (magnitudes continuas) con la aparición de cada dato o aviso (booleanos). Para así poder prevenir estos fallos antes de que se produzcan y provoquen algún paro en la producción o posterior avería del equipo.

5.2. Limpieza de datos

Antes de comenzar a aplicar un modelo estadístico, fue necesario adecuar y limpiar los archivos .csv para así obtener resultados válidos. Lo primero que se hizo fue analizar qué fallos o avisos son los que se repiten con mayor frecuencia en la flota completa de convertidores, lo cual fue sencillo, pues solo hubo que sumar el número de apariciones de cada tipo fallo y ver cuáles son las más numerosas. Al ver los resultados, se comprobó que hay un fallo que se repite mucho más que el resto ya que se ha comprobado que ha supuesto más del 80% de todos los fallos totales registrados en la base de datos con la que se trabajó. Este fallo tiene el código A5A0 y se llama Safe Torque Off. Consiste en una función de seguridad que se activa cuando se produce algún tipo de anomalía, como una sobrecarga o una entrega de potencia excesiva al motor [6]. Esta función permite llevar el motor accionado a un estado sin par, debido a que se ha producido un paro de emergencia.

Dado que este fallo es el causante de la gran mayoría de paros en la producción, el estudio de datos se centró a partir de aquí en darle alguna explicación estadística usando las variables medidas (intensidad, par, frecuencia... etc.). Por lo tanto, para trabajar con una base de datos más manejable, se optó por eliminar todas las variables booleanas que hacen referencia a los otros fallos, convirtiéndose el booleano del fallo A050 en nuestra variable objetivo a explicar.

Por último, también se eliminaron los valores extremos (outliers) de los parámetros medidos, asumiendo que estas medidas puntuales se corresponden con errores de medición o algún otro tipo de anomalía obvia.

5.3. Análisis de datos

Una vez listos los datos a analizar, se pasó a elegir el modelo estadístico más adecuado a este caso particular. Debido a que tratamos de explicar una variable booleana (aparece el fallo A5A0) a través de varias variables continuas (intensidad, par, frecuencia, temperatura...) se llegó a la conclusión de que el modelo estadístico más adecuado a aplicar es el de regresión logística [7].

Para no sobreentrenar el modelo, se usaron los archivos .csv de 100 equipos como set de entrenamiento (training set), y se dejó el resto de los archivos como set de validación (validation set), los cuales suman un total de 157.

Estos 100 archivos se combinaron en uno solo para poder obtener el modelo mediante lenguaje R. Una vez se obtuvo el modelo, se comprobó que ninguna de las variables de entrada era lo suficientemente significativa como para explicar o predecir la variable de salida, por lo que se pasó a pensar alguna posible solución a este problema.

Consultando esto con el equipo de digitalización de ABB en España, se llegó a la conclusión de que es comprensible que el fallo A0A5 no esté relacionado con las magnitudes de los parámetros medidos en sí, ya que, analizando cómo funciona un convertidor de frecuencia, lo que más sentido tendría sería que este fallo fuese producido por cambios bruscos en estas variables, y no por sus magnitudes absolutas.

Sabiendo esto, el siguiente paso fue crear un nuevo set de variables compuesto por las derivadas de las variables originales, ya que este nuevo tipo de dato sí que recoge los cambios bruscos.

Para crear la derivada de una magnitud con un muestreo discreto, se usó la siguiente aproximación, donde X es la variable original, dX la nueva variable y t se calcula gracias a los timestamps.

$$dX(t_i) = \frac{X(t_i) - X(t_{i-1})}{t_i - t_{i-1}}$$

Una vez obtenido el nuevo set de variables, se pasó a calcular el modelo de regresión logística para nuestro set de entrenamiento. Esta vez, los resultados obtenidos sí fueron lo suficientemente significativos como para estar satisfecho con el modelo. En la siguiente tabla se muestran los resultados obtenidos por el modelo en R:

Variable	Estimate (coeficiente beta)	Std. Error	Valor z	Pr
(Intercept)	0,11032	0,13028	0,960	0,39686
Intensidad de salida	0,82836	0,11848	7,722	2,82e-14 ***
Intensidad de entrada	0,69498	0,12195	6,370	3,95e-10 ***
Tensión aplicada	0,10862	0,09751	1,274	0,25595
Tensión de alimentación	0,09753	0,12486	0,872	0,45749
Frecuencia de alimentación	0,04751	0,08751	0,687	0,57429
Frecuencia de salida	0,05785	0,07162	0,781	0,59349
Temperatura ambiente	0,18896	0,09840	2,478	0,12893
Temperatura de los IGBTs	0,18215	0,08269	2,158	0,11478
Par aplicado al motor	0,34798	0,17893	3,478	0,00078 **

Ilustración 2: Tabla con los resultados obtenidos del modelo de regresión logística

De los resultados anteriores, se puede asumir claramente que las variables más significativas (coeficiente beta suficientemente alto y p-valor casi cero) son las derivadas del par aplicado al motor y las intensidades de entrada y salida. Esto quiere decir que cuando se produce un cambio brusco en alguna de estas tres magnitudes, hay una alta probabilidad de que después se registre el fallo A5A0 en el equipo.

Por lo tanto, el paso siguiente fue eliminar el resto de las variables de nuestro modelo, ya que no cuentan con el nivel de significación suficiente.

Una vez obtenido el modelo deseado, se comprobó su correcta fiabilidad con el set de entrenamiento y, posteriormente, con el set de validación.

Con el set de entrenamiento, la matriz de confusión obtenida arroja una precisión total (número de previsiones acertadas entre el número de previsiones totales) de 94%. Este porcentaje es muy satisfactorio, pero es necesario comprobar también la sensibilidad, ya que las muestras están desbalanceadas (hay muchísimos más ceros que unos, ya que el uno solo se da cuando se registra el error A0A5, y el cero se da en cualquier otro momento). El porcentaje de sensibilidad obtenido (positivos previstos entre positivos totales) fue del 89%, lo cual se consideró lo suficientemente alto, por lo que se pasó a comprobar el modelo con el set de validación.

Con este set, los resultados fueron ligeramente peores, pero dentro de los márgenes aceptables. La precisión total fue del 91% y la sensibilidad fue del 83%. Esto quiere decir que se estima que, de todos los fallos A0A5 que se produzcan, el modelo será capaz de detectar un 83% de ellos aproximadamente. Por lo tanto, el modelo fue considerado como válido, y se autorizó la puesta en marcha de un plan de actuación para prevenir la aparición de fallos basado en este modelo.

5.4. Pruebas realizadas

Antes de implementar este sistema de prevención en toda la flota de variadores de frecuencia digitalizados, hubo un periodo de prueba en el que se comprobó que este modelo de predicción funcionaba correctamente.

Para ello, se hizo un acuerdo con un cliente particular que contaba con 15 variadores digitalizados. Con la ayuda del equipo de desarrollo de ABB en Finlandia, se implementó un sistema automatizado que avisa al cliente en caso de que se detecte un aumento brusco en las intensidades de entrada y salida y en el par ejercido por el motor controlado por el equipo. El cliente, una vez recibe este aviso, tiene la tarea de disminuir la carga aplicada por el variador.

Tras un mes de prueba, se comprobó que el número de veces que se registraba el error A5A0 (con su respectivo paro en la producción) bajó de 20 veces a tan solo 5 en toda la flota compuesta por los 15 equipos (un 75% de acierto frente al 83% esperado, pero resultados aceptables aún así).

5.5. Mejoras implementadas

Dados los positivos resultados del periodo de pruebas, se implementó este sistema de avisos automatizados en todos los equipos de variadores de frecuencia digitalizados de ABB en España. Esta implementación fue análoga a la realizada con la flota de prueba compuesta por 15 equipos y se realizó, de nuevo, con la ayuda del equipo de desarrollo de la herramienta.

Para comprobar el correcto rendimiento de estas mejoras, se estableció un sistema de KPIs a mejorar. El primer KPI se definió como el número de veces que se registra el fallo A0A5.

Debido a que se pensaba que este fallo está relacionado con paros en la producción y posteriores averías en los equipos, también se establecieron estas dos medidas como KPIs a mejorar.

Ya que, durante el periodo de prueba, los fallos AOA5 registrados se redujeron en un 75%, se estimó que ese porcentaje fuera similar aplicando las mejoras a la flota completa de equipos digitalizados en España.

En cuanto al número de paros en la producción y averías, con ayuda del equipo técnico de ABB se estimó que, aproximadamente, la mitad de estos contratiempos están relacionados con el fallo AOA5. Por lo tanto, si se prevé que este fallo se va a reducir en un 75%, la previsión de la reducción del número de paros de producción y averías es de la mitad de este porcentaje, es decir, un 37,5%.

5.6. Comprobación y verificación

Una vez transcurrido un mes desde la implementación completa del sistema de mejora, se pasó a analizar la mejora de KPIs y a compararla con la estimada.

Para medir el número de fallos AOA5 registrados, fue tan sencillo como obtener ese dato de la herramienta Condition Monitoring. El número de paros en la producción también fue posible obtenerlos de dicha herramienta. En cuanto al número de averías de equipos, fue necesario pedir dicha información al departamento de ingeniería de servicio de ABB.

Estos KPIs se compararon con el mes anterior (es decir, se comparó un mes sin mejora frente a un mes con mejora), y se obtuvieron los siguientes porcentajes, que se muestran en una tabla comparativa con los porcentajes de mejora estimados anteriormente.

KPI	Porcentaje de mejora estimado	Porcentaje de mejora real
Número de fallos AOA5 registrados	75%	76,3%
Número de paros en la producción	37,5%	34,7%
Número de averías totales	37,5%	23,8%

Ilustración 3: Tabla con la comparación de KPIs reales con los estimados

Como puede observarse, las mejoras de KPIs obtenidas son lo suficientemente similares a las estimadas en un principio como para considerar el modelo y las implementaciones de mejora válidas.

No obstante, se observa que el número de averías totales se ha reducido bastante menos de lo que se esperaba, lo cual significa que este contratiempo no está tan relacionado con el fallo AOA5 como se pensaba inicialmente. No obstante, se considera que una reducción del 26,8% de averías es un resultado también muy positivo e impacta de forma significativa en el ahorro de costes del cliente.

6. Propuestas de mejora

El principal problema encontrado en la aplicación de Condition Monitoring es la implicación de los clientes con esta herramienta. Se ha encontrado una baja tasa de visitas al portal web de la plataforma, así como de descargas de los

informes de forma proactiva por parte de los encargados de mantenimiento.

6.1. Obtención y descripción de la información

Se ha llegado a la conclusión de que la implicación de los clientes con la herramienta es baja gracias a los datos de uso de la misma.

Los datos se solicitaron al equipo de desarrollo, el cual proporcionó tres archivos .xls con las siguientes estadísticas de uso: consultas al portal web, número de notificaciones recibidas y número de informes descargados. Cada uno de estos archivos muestran los datos con una periodicidad de un mes, es decir, cada fila de los documentos se corresponde con un mes de uso.

6.2. Análisis de datos

Una vez fue posible trabajar con archivos de datos reales, el primer análisis a realizar fue una representación gráfica y una inspección visual de la misma, ya que la información obtenida es de complejidad sencilla.

Debido a que estos datos se corresponden con los últimos 12 meses de uso de la herramienta, se optó por agrupar los datos de cada mes, para simplificar la representación visual de los mismos.

Hecho esto, los gráficos obtenidos son los siguientes:

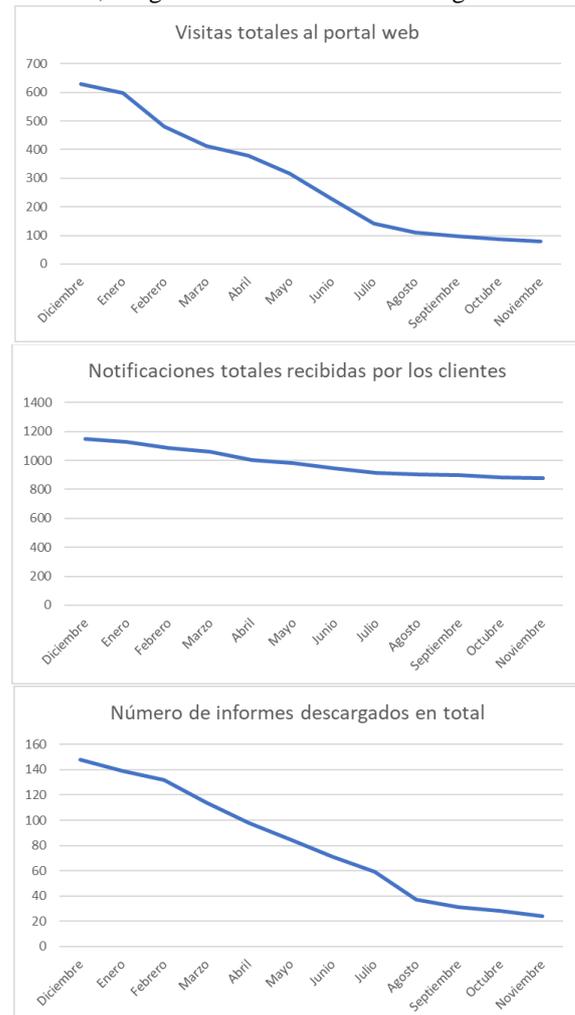


Ilustración 4: Gráficos de las estadísticas de uso de Condition Monitoring

Como puede verse, en todos los gráficos se muestra una clara tendencia a la baja. Esto indica que los clientes han dejado de ver atractiva la herramienta de digitalización, por lo que existe el riesgo de que la digitalización de variadores de frecuencia de ABB no crezca según lo previsto.

Analizando cada variable individualmente, se observa que el número de visitas totales al portal web se ha visto reducido en un 87,3%; las notificaciones totales recibidas por los clientes han descendido un 23,4% y el número de informes descargados en total ha decrecido un 83,8%. Viendo las gráficas y estos porcentajes, está claro que las estadísticas que se están viendo más afectadas por el desuso son las visitas al portal y el número de informes descargados en total, mientras que las notificaciones recibidas por los clientes han descendido mucho menos que las dos otras variables.

6.3. Mejoras implementadas

Tal y como se ha explicado anteriormente, el portal permite descargar informes detallados en PDF del último intervalo de tiempo (cuya longitud la establece el usuario). Sin embargo, esta es una acción manual y es el cliente el que tiene que entrar al portal y hacer clic en “generar informe” para poder descargarlo.

Gracias al análisis de datos explicado previamente, se ha visto que esta acción se realiza cada vez menos. La mejora realizada para solucionar esto es añadir una nueva opción al panel desplegable de Condition Monitoring que permita al cliente establecer un envío automático de informes vía email. El cliente puede también decidir la frecuencia con la que se envían estos informes.

Muy relacionado con este problema está el de las notificaciones por email que sí que están presentes actualmente en Condition Monitoring.

Antes de las mejoras, el usuario es capaz de establecer el número máximo de comunicaciones por email que recibe al día, así como decidir qué tipos de eventos quiere recibir (fallos, avisos, cambios en los parámetros de configuración, falta de comunicación durante más de una hora y rebasamiento de una señal de los límites de usuario establecidos).

Pese a que esta opción ya es muy completa y útil, se han implementado las siguientes 2 mejoras que la harían más efectiva todavía:

- Posibilidad de priorizar los eventos según su nivel de urgencia: ya que no es lo mismo un aviso de un error menor que el de una falta grave que pueda detener toda la producción. También se permite al usuario distinguir cuánto se ha rebasado el límite establecido de una señal. Por ejemplo, si la temperatura ambiente supera 1 oC el límite, no es lo mismo que si la supera por 10 oC. Así, el usuario puede decidir qué alertas le llegan y cuales no y centrarse en las que más le importen, haciendo más atractivo esta opción.
- Posibilidad de establecer otras vías de comunicación más directas: esta mejora está muy relacionada con la anterior, ya que es muy práctico que el usuario pueda

personalizar el envío de comunicaciones también por SMS o incluso una llamada de teléfono automatizada. Estos medios más directos están pensados solamente para los eventos más urgentes, por lo que es muy útil poder establecer varios niveles según su urgencia y personalizar qué medios de comunicación utilizará cada nivel.

Para implementar estas dos mejoras (envío automático de informes y mejora del sistema de notificaciones) se trabajó conjuntamente con el equipo de desarrollo de la compañía.

6.4. Estimaciones de mejora

Lo primero, consistió en definir qué KPIs son los que se quisieron mejorar, y dada la sencillez de los datos con los que se contaban, que se corresponden con las estadísticas de uso de Condition Monitoring (consultas al portal web, número de notificaciones recibidas y número de informes descargados), fueron estas 3 variables las que se establecieron mismamente como KPIs.

La estimación cuantitativa que cuánto podrían mejorar se estableció en base a las cifras de uso de la plataforma 12 meses atrás. De esta manera, se estimó que, en 6 meses, las cifras volvieran de nuevo a los valores registrados hace un año. Sin embargo, dado que la comprobación de estas mejoras estaba prevista que se realizara de manera mensual, se aproximó que la curva de crecimiento fuese lineal, por lo que cada mes, los KPIs deberían mejorar un sexto del total esperado. Tras realizar los cálculos pertinentes, se estimó que las visitas al portal web deberían aumentar en 91 visitas; las notificaciones recibidas por clientes, en 45 notificaciones y el número de informes descargados, en 21 informes.

6.5. Comprobación y verificación

Durante el siguiente mes, se comprobó periódicamente que las mejoras implementadas seguían funcionando correctamente.

Al terminar el mes, se volvieron a pedir los datos con las estadísticas de uso de la plataforma, para así poder comprobar el grado de cumplimiento de mejora de las medidas de rendimiento (KPIs).

Las mejoras esperadas y reales pueden verse en la siguiente tabla:

KPI	Crecimiento esperado	Crecimiento real
Visitas totales al portal web	91	24
Notificaciones recibidas por los clientes	45	57
Número de informes descargados en total	21	42

Ilustración 5: Tabla con el resumen de mejora de KPIs esperadas y reales

De estos resultados pueden obtenerse las siguientes conclusiones:

- El nuevo sistema mejorado de notificaciones es más atractivo de cara al cliente. Se ha hecho saber a los clientes acerca de las mejoras de este sistema, y estos han respondido configurando nuevas notificaciones personalizadas, lo cual ha repercutido en que los

clientes ahora reciben un mayor número de avisos. Este aumento ha sido incluso mayor que el esperado.

- El envío de informes al email de manera automatizada también ha tenido éxito entre los clientes, pues ha aumentado significativamente el número de informes descargados en total, superando las expectativas.
- Las visitas totales al portal web han aumentado mucho menos de lo esperado. Esto puede deberse a que las mejoras implementadas no promueven que el cliente entre activamente al portal web, sino la automatización de tareas por medio de notificaciones.

De esta manera, para que el cliente se implique con el servicio, ya no es necesaria su participación activa entrando al portal web, sino un atractivo sistema de notificaciones y el envío automatizado de informes.

7. Seguimiento periódico de equipos

La siguiente tarea por realizar en este proyecto consistió en un trabajo más diario con los equipos conectados al Condition Monitoring.

Como se ha descrito anteriormente, Condition Monitoring tiene la opción de generar informes del último periodo de tiempo personalizado de uno o varios equipos. Además, con las mejoras implementadas, varios clientes han configurado el envío automático de estos informes, por lo que esta herramienta está volviendo a ser apreciada por ellos.

Sin embargo, para acelerar todavía más esta implicación de los clientes con el servicio, se ha decidido que la siguiente tarea de este proyecto consista en descargar y completar de manera personalizada los informes para enviarlos periódicamente a los clientes.

Esta tarea va muy bien alineada con el objetivo principal del proyecto (que consiste en mejorar y potenciar los servicios de digitalización en ABB España) y se prevé que hacer estas revisiones muestre a los clientes la importancia de tener un convertidor de frecuencia digitalizado con ABB.

7.1. Obtención de la información

De cara a poder medir el impacto que esta tarea pueda tener para ABB, se decidió hacer un análisis de algunos indicadores clave que arrojaran información sobre el éxito del envío periódico de informes.

Para ello, se pidió al departamento de servicio y financiero de la compañía toda la información posible que pudiera servir para este propósito.

La información recibida consistió en un resumen los últimos 12 meses con la evolución de la cantidad total de equipos digitalizados, así como el número de equipos digitalizados por cada cliente. Dicho resumen llegó en formato PDF, por lo que, para un posterior correcto análisis de la información, se decidió elaborar un archivo .xls que contuviera toda la información.

7.2. Análisis de datos

Después de preparar el set de datos para su correcto análisis, se procedió a hacer una representación gráfica de la

evolución de las cifras de la cantidad de equipos digitalizados en total y la media del número de equipos digitalizados por cliente. Dicha representación gráfica puede verse a continuación:

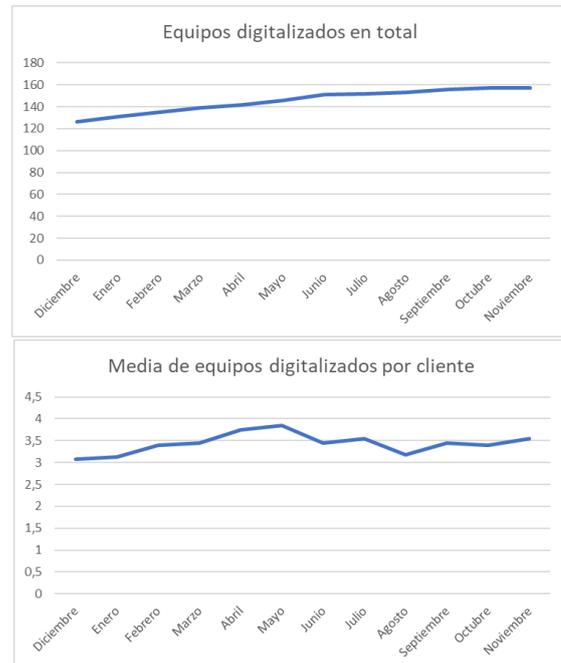


Ilustración 6: Evolución de equipos digitalizados y media de equipos digitalizados por cliente

Analizando la gráfica de equipos digitalizados en total, puede observarse que el crecimiento de nuevos equipos digitalizados ha comenzado a frenarse. A principios de 2021, ABB esperaba alcanzar la cifra de 200 equipos digitalizados, por lo que estos resultados no son positivos para la compañía.

En cuanto a la media de equipos digitalizados por clientes, puede apreciarse que no está experimentando un aumento claro con el paso del tiempo. La cifra se encuentra estancada oscilando entre los 3 y 4 equipos de media. Esto quiere decir que los clientes, por regla general, no han decidido extender la contratación de servicios de digitalización a otros variadores de frecuencia que puedan tener instalados.

Por lo tanto, podemos asumir que el flujo de nuevos convertidores de frecuencia digitalizados viene dado por nuevos clientes que se dan de alta en el servicio mayoritariamente.

Después de analizar estos datos, se llegó a la conclusión de que, si se quiere alcanzar un buen ritmo de crecimiento de equipos digitalizados, estos nuevos equipos deben llegar tanto por parte de nuevos clientes como por parte de nuevos variadores digitalizados por clientes existentes.

Las mejoras implementadas que se describirán a continuación tienen, por lo tanto, el objetivo de aumentar este flujo de nuevos equipos por medio de las dos fuentes mencionadas anteriormente.

7.3. Mejoras implementadas

Como se ha descrito anteriormente, se ha decidido que una buena manera de hacer ver al cliente el valor añadido que supone digitalizar sus equipos es mediante el envío directo

de los informes descargados de Condition Monitoring de manera periódica. Además del envío directo, estos informes son completados con información totalmente personalizada, la cual incluye:

- Una descripción detallada de las causas y posibles soluciones de los fallos y avisos registrados en el equipo, ya que por defecto en el informe se muestra una lista de ellos, pero sin ningún tipo de información.
- Unas conclusiones generales sobre las condiciones y monitorización del equipo, así como futuras recomendaciones a seguir.

7.4. Estimación de mejora de KPIs

En este caso, se escogieron como indicadores de rendimiento las dos variables que han estado analizándose, es decir, la evolución de equipos de frecuencia digitalizados en total y de la media de equipos digitalizados por cliente. Ya que las mejoras implementadas aportan atractivo a esta herramienta, se espera que esto repercuta en el aumento de equipos digitalizados en total. Por lo tanto, se estima que, en 1 mes, esta cifra aumente tanto como ha aumentado en total los últimos 12 meses.

En los últimos 12 meses esta cifra ha pasado de ser de 126 a 158, por lo tanto, se espera que esta cifra aumente en 32 equipos en el próximo mes.

A su vez, ya que las mejoras implementadas repercuten en el atractivo percibido por los clientes existentes, se prevé que la media de equipos digitalizados salga de su estancamiento y consiga rebasar en 1 mes los 4 equipos digitalizados de media, lo cual supone un aumento de 0,45 equipos de media, ya que la cifra actual se sitúa en 3,55 equipos.

7.5. Verificación de resultados

Después de enviar un primer lote de informes personalizados a todos los clientes, se dejó un mes de margen para que las mejoras implementadas se vieran reflejadas en las cifras de los KPIs.

Cabe destacar que el envío de estos informes personalizados tuvo muy buena acogida por parte de los clientes, ya que estos reportaron un feedback muy positivo tras recibirlos.

Una vez transcurrido este mes, se volvieron a pedir los datos de las cifras del último mes. Como era de esperar, hubo una mejora significativa de ambas cifras. En la siguiente tabla puede verse una comparativa de las mejoras reales con las previstas antes de implementar las mejoras.

KPI	Aumento previsto	Aumento real
Equipos digitalizados en total	32	26
Media de equipos digitalizados por cliente	0,45	0,48

Ilustración 7: Tabla comparativa entre las mejoras previstas y reales

Como puede verse, el aumento de la media de equipos digitalizados por cliente sí que ha cumplido con las expectativas iniciales. Sin embargo, no se ha logrado alcanzar las expectativas de aumento total de equipos

digitalizados. Esto es debido a que estas mejoras han tenido mucha más repercusión entre los clientes que ya tenían algún equipo digitalizado, lo cuál tiene sentido, ya que han sido estos clientes los que han podido observar los informes personalizados de primera mano.

8. Resultados

La realización de este proyecto ha dejado resultados tangibles en la digitalización de convertidores de frecuencia de ABB:

- Gracias al análisis de datos almacenados de los equipos, se ha logrado reducir notablemente el número de fallos registrados, paros en la producción y averías de convertidores de frecuencia.
- Debido a las mejoras en las notificaciones y descarga automática de informes, las estadísticas de uso de la herramienta de Condition Monitoring han mejorado de manera visible.
- El envío de informes completados con información personalizada ha tenido muy buena acogida entre los clientes, por lo que ha aumentado la media de equipos digitalizados por cliente y, por lo tanto, se ha incrementado el número de equipos totales digitalizados.

Todos estos resultados se han analizado en profundidad de manera cuantitativa en secciones anteriores de este documento. Debido a que las cifras de mejora de todos los KPIs han sido considerablemente altas, se asume que los objetivos iniciales de este proyecto han sido cumplimentados satisfactoriamente.

9. Conclusiones

Este proyecto tenía como propósito potenciar y mejorar la digitalización de los convertidores de frecuencia en ABB, y esto se ha cumplido gracias a la realización de las tareas mencionadas, como puede verse en el análisis de los resultados.

Gracias a este proyecto, se ha puesto en claro el valor añadido que aporta la digitalización de los convertidores de frecuencia y otros activos, solucionando problemas reales y aportando mejoras tangibles a corto y largo plazo.

La industria conectada está adquiriendo cada vez más importancia en el panorama internacional, y es de vital importancia que las empresas actualicen sus productos y servicios para seguir siendo competitivas en el mercado, ya que la optimización de recursos y mejoras de los procesos van a ser cada vez más demandados por las industrias.

Además, con la realización de este proyecto se ha podido demostrar que éste es un proceso de mejora continua, ya que cada día aparecen nuevas tecnologías y soluciones por implementar y es necesario estar actualizado para no quedarse atrás.

10. Referencias

- [1] Fourth Industrial Revolution. Wikipedia (URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Fourth_Industrial_Revolution#Third_Industrial_Revolution). 2/11/2021

-
- [2] The Top 20 Industrial IoT Applications (URL: <https://www.iiotworldtoday.com/2017/09/20/top-20-industrial-iiot-applications/>) 20/7/2017
- [3] ABB Ability™ Condition monitoring para convertidores de frecuencia, sitio oficial de ABB. (URL: https://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=9AKK107046A0262&LanguageCode=es&DocumentPartId=&Action=Launch&_ga=2.152850682.293738614.1640452929-827541529.1640452927) 2021
- [4] Drivetune, sitio oficial de ABB. (URL: <https://new.abb.com/drives/es/apps-convertidores/drivetune>) 2021
- [5] Mobile Connect, sitio oficial de ABB. (URL: <https://new.abb.com/news/es/detail/81096/abb-ability-mobile-connect-para-variadores-de-frecuencia-una-solucion-de-soporte-remoto-que-satisface-los-retos-digitales-de-la-industria>) 2021
- [6] Funciones de seguridad típicas, sitio oficial de ABB. (URL: <https://new.abb.com/drives/es/seguridad-funcional-variadores/funciones-de-seguridad-tipicas>)
- [7] Regresión logística. Wikipedia. (URL: https://es.wikipedia.org/wiki/Regresi%C3%B3n_log%C3%ADstica) 30/12/2021