

Una fábrica que produce en un entorno de Industria 4.0 realiza una reingeniería de adaptación y un manejo de recursos que minimizan gastos, potencian capacidades no usadas y genera **sinergia económica** que se evidencia en mejoras cuantitativas y cualitativas en la producción.



## Estrategias de aplicación de Industria 4.0 en las empresas peruanas

### Industry 4.0 Application Strategies in Peruvian Companies

#### RESUMEN

El presente trabajo muestra una visión de la transformación del sector industrial en Perú y se realiza una confrontación con la cuarta revolución industrial. Basándose en ello, se identifican tres niveles tecnológicos típicos presentes en nuestra realidad y se plantean las necesidades más trascendentes, así como las estrategias a aplicar en cada uno de los niveles tecnológicos existentes. Estas estrategias se asocian con la tecnología actual, la automatización, el *big data*, el IoT, la realidad aumentada, y la integración horizontal y vertical de procesos de producción. Se determinan los procedimientos a seguir para la implementación de la Industria 4.0 como solución a las necesidades planteadas. Se evalúan los resultados a partir de casos reales que nos permiten evidenciar la importancia y la aplicabilidad de esta revolución tecnológica en Perú. La validación de las estrategias nos demostrará la necesidad de aplicar Industria 4.0 para obtener incrementos sustanciales en calidad, reducción de tiempos de producción, mejorar precios del producto y productividad; es decir, lograr la optimización en los procesos productivos, sin necesariamente incurrir en gastos excesivos para su implementación. El resultado de la aplicación permitió realizar una integración de la información a nivel de campo en primera instancia, y a nivel de gestión y análisis de datos en una segunda instancia; eliminar y reducir en casi un 93 % el problema de merma, en un 95 % el problema de reportes de parada y, de parte del cliente, una aceptación de un 80 %, lo que supera en un casi 60 % lo que se tenía antes; y, finalmente, mediante la data recopilada, obtener un récord casi en tiempo real de los niveles de producción de cada máquina.

#### ABSTRACT

The present work shows a vision of the transformation of the industrial sector in Peru and a confrontation with the fourth industrial revolution. Based on this, there have been identified three typical technological levels present in our reality and there have raised the most transcendental needs, as well as the strategies to be applied in each of the existing technological levels. These strategies are associated with current technology, automation, Big Data, IoT, Augmented Reality, and the horizontal and vertical integration of production processes. There are identified the necessary procedures for the implementation of Industry 4.0 as a solution to the needs already raised. Results are evaluated based on real cases that allow us to demonstrate the importance and applicability of this technological revolution in Peru. The validation of the strategies will show us the need to apply Industry 4.0 to obtain substantial increases in quality, reduction of production times, improve product prices and productivity; that is, achieve optimization in production processes, without necessarily incurring in excessive costs for its implementation. Results of the application allowed us to integrate the information at the field level in the first instance and at the level of management and data analysis in a second instance; eliminate and reduce the problem of shrinkage by almost 93 %, by 95 % the problem of stop reports and an acceptance of 80 % from the client, which exceeds by almost 60 % the previous ones. Finally, the data collected allows for having an almost real-time record of the production levels of each machine.



#### Palabras clave

Automatización, big data, cuarta revolución industrial, Industria 4.0, productividad, realidad aumentada.

#### Key words

Automation, big data, fourth industrial revolution, industry 4.0, productivity, augmented Reality.

## INTRODUCCIÓN

La situación actual de la industria en Perú, en lo referente a la tecnología que se utiliza, la calidad del proceso de producción y el acceso a información o a los datos, es aún bastante precaria en determinados sectores. Por ello, las empresas enfrentan serios problemas para lograr mayor productividad y ser más competitivas en el mercado nacional e internacional [1]. Ante esta situación, existe la necesidad de optimizar los procesos productivos; muchas de las empresas están inmersas en la búsqueda del camino que las conduzca a lograr ese objetivo [2].

En la industria peruana, actualmente, podemos encontrar hasta tres niveles tecnológicos presentes en nuestra realidad:

**1.º nivel.** Conformado por las empresas industriales que realizan sus procesos de producción mediante máquinas completamente mecánicas, generalmente reemplazando al hombre solo en el uso de la fuerza; es decir, sin mayor aplicación de nuevas tecnologías.

**2.º nivel.** Compuesto por las empresas industriales que utilizan sistemas eléctricos en su proceso productivo para realizar el comando de algunas acciones. Así, logran un cierto grado de automatización con el uso de relés y contactores, de mecanismos y máquinas eléctricas para una producción en masa.

**3.º nivel.** Constituido por las empresas industriales que incorporan las computadoras, la electrónica y el internet en sus procesos productivos, y obtienen procesos planificados, máquinas con sistemas electrónicos de control, comunicación y mando a distancia; es decir, procesos con alto grado de automatización con los que se consiguen productos de alta calidad, se reducen tiempos de producción y costos, y se mejora la productividad [3].

El objetivo del estudio es plantear una estrategia coherente para el proceso de migración a la Industria 4.0. La metodología usada presenta tres etapas: la primera identifica el nivel tecnológico del sistema; la segunda, la problemática específica a superar; y la tercera, el planteamiento a implementar [4].

## FUNDAMENTOS

### Identificación de las tecnologías en la industria peruana

Durante el último siglo, en el planeta se han desarrollado cambios que han definido el estado y nivel tecnológico en el que nos encontramos. Estos eventos históricos se han identificado como las llamadas revoluciones industriales, las cuales, con el transcurso del tiempo, han ido formando la realidad tecnológica de nuestro país. Este es un espacio que no se enmarca por completo en ninguna de ellas y, a la vez, presenta características de cada una; situación especial y distinta que complejiza el trabajo de identificación de las tecnologías usadas en industrias dentro del país. Comenzaremos mencionando, de manera sucinta, los focos que promueven la industria, es decir, las

líneas de actividades industriales; esto nos permitirá tener una visión panorámica de cómo estamos y qué tenemos. Dentro de ello, reconoceremos y categorizaremos los impactos de las revoluciones industriales y cuáles están presentes. Además, identificaremos las tecnologías traídas por las revoluciones industriales como I1, Industria 1.0; I2, Industria 2.0; e I3, Industria 3.0. Se entiende I1 como tecnologías basadas en sistemas mecánicos con motores a vapor y trabajo manual intensivo; I2, como cadenas de montaje accionadas por motores eléctricos con trabajo manual intensivo; I3, como proceso de producción basado en automatización, electrónica y TI.

Tabla 1  
Identificación de tecnologías

Líneas de actividades industriales	I1	I2	I3
Productos alimenticios y bebidas	x	x	x
Productos de tabaco		x	x
Productos textiles		x	x
Prendas de vestir, adobo y teñido de piel	x	x	x
Procesamiento de artículos de cuero	x	x	x
Procesamiento de madera y derivados	x	x	
Edición, impresión y reproducción de grabaciones		x	x
Productos de la refinación del petróleo y combustible nuclear		x	x
Sustancias y productos químicos		x	x
Productos de caucho y plásticos		x	x
Productos minerales no metálicos		x	x
Procesamiento de metales comunes		x	x
Maquinarias y equipos eléctricos		x	x
Instrumentos médicos, ópticos, de precisión y fabricación de relojes		x	x
Medios de transporte y partes de vehículos		x	x

Fuente: Elaboración propia. Adaptado de la encuesta de opinión gerencial en el sector industrial realizada por el INEI (2002).

Según la encuesta del INEI sobre la opinión gerencial en el sector industrial (2002), se abstrae la tabla 1, la cual nos muestra una marcada tendencia a la existencia de tecnologías del tipo I2 e I3; sin embargo, hay líneas de producción en donde aún coexisten los tres tipos. Esto se contrasta con un porcentaje marcadamente mayor de empresas en las líneas productivas mostradas con un nivel tecnológico del tipo I2 [5]. Estos resultados delinean una realidad que nos permite pensar en las estrategias a usar para obtener mejores condiciones de productividad y eficiencia. Sin embargo, cabe mencionar que también hay una realidad mental que acompaña a este estado tecnológico, el cual se suele fundamentar en preguntas e ideas como las siguientes:

- ¿Por qué tengo que cambiar mi forma de trabajar?
- ¿Por qué cambiar mis equipos si con los que tengo puedo producir?
- La tecnología es muy costosa y los equipos nuevos tienen precios que no puedo pagar.
- Me sale más barato hacerlo a mano que con maquinarias.

Romper con estos paradigmas es parte de la evolución que necesitamos. Estos son, probablemente, válidos en entornos

muy pequeños; pero ya no se aplican a realidades como en las que vivimos con los conceptos de globalización, no solamente de información, sino también de tecnologías. Aquí es donde la necesidad de plantear estrategias de aplicación de la Industria 4.0 cobra especial relevancia, pues permite romper dichos paradigmas y demostrar que los saltos tecnológicos son los pilares de un crecimiento sostenido en una economía que debe crecer y adaptarse constantemente a los cambios económicos mundiales.



Figura 1. Tecnologías existentes.

Tabla 2  
Identificación de tecnologías de I4

Tecnologías I4	Pasos a seguir en el proceso hacia la I4			
	1.º	2.º	3.º	4.º
Big data y analytics			X	
Robots autónomos				X
Simulación			X	
Integración horizontal (H) y vertical (V) de procesos	X			
Internet industrial de las cosas		X		
Ciberseguridad				X
La nube				X
Fabricación aditiva		X		
Realidad aumentada				X

Fuente: Elaboración propia.

Esta información marcará los pasos a seguir en las estrategias que se plantean para los tres escenarios que se estudiarán.

Como lo han demostrado muchas empresas líderes en aplicación de Industria 4.0, la conectividad es la piedra angular que une todo. A partir de eso, se han planteado, en la tabla 2, los pasos a seguir en el proceso para dar el salto hacia I4.

A continuación, plantearemos tres escenarios que nos permitan identificar las necesidades y, así, plantear las estrategias a seguir.

**Escenario 1.** Industria con actividades basadas en mano de obra directa y el manejo de maquinarias de accionamiento manual. Solo se trabaja en turnos de día, pues no se pueden controlar las actividades en turnos nocturnos.

## METODOLOGÍA

### Estrategias

Passar de una tecnología del tipo I3 a Industria 4.0 es un salto que aplica, principalmente, al manejo de la información con propósitos de eficiencia y competitividad. Sin embargo, esta no es la realidad en Perú; en consecuencia, la gran mayoría de empresarios (dueños de fábricas y empresas de producción) percibe esta cuarta revolución como algo más parecido a una moda que a una alternativa de mejora y eficiencia. Esta es una visión equivocada. Para revertir esta falsa visión, es necesario mostrar que existen formas para que no sea solo una moda tecnológica, sino la herramienta que permitirá alcanzar objetivos tan comunes en las industrias como la reducción de merma en la producción; el incremento del volumen de la producción; el aumento del valor agregado al producto y, por ende, su calidad; la reducción de gastos de producción; y el aumento de las ganancias [6].

Para identificar los niveles de escalamiento de la migración a Industria 4.0, partiremos de la tabla 2, que prioriza las tecnologías que son los pilares de la aplicación de Industria 4.0.

**Escenario 2.** Industria con maquinaria electromecánica y mano de obra no intensiva. Solo se trabaja en turnos de día y de noche, pero el control de las actividades en turnos nocturnos es deficiente.

**Escenario 3.** Industria con maquinaria semiautomatizada o completamente automatizada, con turnos diurnos y nocturnos, con problemas de merma de producción y constantes paradas por fallas de equipos.

Estos tres escenarios son, probablemente, los más representativos en nuestro entorno, caracterizan las situaciones que se presentan en el mayor porcentaje industrial. Comenzaremos identificando los puntos críticos de la producción. En los casos planteados, estos se pueden resumir en los siguientes:

- Información y datos del proceso de fabricación (IyD)
- Interacción de la mano de obra en la fabricación (MdO)
- Nivel de automatización (NA)

Si desarrollamos una matriz de identificación, podemos percatarnos de los pasos o estrategias a seguir para mejorar los indicadores de producción.

Tabla 3  
Matriz de identificación de estrategias

Escenarios	Puntos críticos de producción		
	IyD	MdO	NA
Escenario 1		X	
Escenario 2		X	
Escenario 3		X	X

Fuente: Elaboración propia.

Como resultado de esto, podemos plantear los siguientes pasos:

### Escenario 1

Se planteará una estrategia basada en tres etapas que permita escalar paulatinamente el nivel de tecnología hacia I4. En cada etapa, se realizará un proceso de sinergia que motive a la siguiente.

Tabla 4  
Etapa 1. Escenario 1

Etapa 1	Escenario 1		
	Puntos críticos de producción		
Tecnologías I4	IyD	MdO	NA
Big data y analytics			
Robots autónomos			
Simulación			
Integración H y V del proceso			
Internet industrial de las cosas	X		
Ciberseguridad			
La nube			
Fabricación aditiva		X	
Realidad aumentada			

Fuente: Elaboración propia.

Esta primera etapa introduce la capacidad de recabar información de los procesos productivos sin una inversión excesiva, pues el uso de sensores con capacidad de comunicación permite conocer y almacenar información para la toma de decisiones basada en datos reales y de primera mano. Por otro lado, es en la medida de lo posible, pues la actividad de mano de obra es muy diversa y, en algunos casos, repetitiva. Este entorno es favorable para lo que se denomina como fabricación aditiva, la cual no busca reemplazar la mano de obra, sino mejorar su efectividad y, por ende, la calidad en el producto [7].

**Resultados directos.** La mano de obra toma menos tiempo para realizar los mismos trabajos, lo cual implica que se

incrementa la producción debido a la información recabada; el control de mermas es más efectivo, lo que se traduce en una extensión de los turnos de trabajo que ahora pueden ser de dos turnos (diurno y nocturno) o, inclusive, de tres turnos (diurno, vespertino y nocturno); la implicancia es que se duplica o triplica la producción. Esto es saltar de I1 a I2.

Tabla 5  
Etapa 2. Escenario 1

Etapa 2	Escenario 1		
	Puntos críticos de producción		
Tecnologías I4	IyD	MdO	NA
Big data y analytics	X		
Robots autónomos			
Simulación			
Integración H y V del proceso			X
Internet industrial de las cosas			
Ciberseguridad			
La nube			
Fabricación aditiva			
Realidad aumentada			

Fuente: Elaboración propia.

Luego de la segunda etapa, integramos la potencialidad del manejo de la información en el contexto de I4. El análisis de datos permitirá una eficiente interrelación entre producción (fábrica), demanda (clientes) y recursos (proveedores), lo cual permite una toma de decisiones en tiempo real. En esta etapa, la reinversión de los recursos favorables, resultados de la primera etapa, permitirá afrontar los gastos en la integración H y V del proceso, y los softwares y las plataformas que soporten el manejo y análisis de datos.

**Beneficios inmediatos.** No detener la producción por altas demandas y falta de recursos, no generar excedentes de producción y facilitar cadenas de valor automatizadas.

Tabla 6  
Etapa 3. Escenario 1

Etapa 3	Escenario 1		
	Puntos críticos de producción		
Tecnologías I4	IyD	MdO	NA
Big data y analytics			
Robots autónomos		X	
Simulación			
Integración H y V del proceso			
Internet industrial de las cosas			
Ciberseguridad			
La nube			
Fabricación aditiva			
Realidad aumentada			

Fuente: Elaboración propia.

Esta tercera etapa empuja más a todo el sistema de producción a un proceso simbiótico hombre-máquina, pues la mano de obra se optimiza con la integración de robots ayudantes y colaborativos.

**Resultado directo.** La mano de obra genera productos de alta calidad y a mayor velocidad, los cuales se adaptan a diferentes patrones de producción según la necesidad de la demanda.

Tabla 7  
Resumen de logros. Escenario 1

Tecnologías I4	Escenario 1
Big data y analytics	X
Robots autónomos	X
Simulación	
Integración H y V del proceso	X
Internet industrial de las cosas	X
Ciberseguridad	
La nube	
Fabricación aditiva	X
Realidad aumentada	

Fuente: Elaboración propia.

El resultado final de esta estrategia planteada es que la fábrica ha pasado de una tecnología I1 a I4, sin la necesidad de invertir en nuevas maquinarias ni pensar en recorte de personal.

### Escenario 2

En el segundo escenario, planteamos dos etapas necesarias en nuestra estrategia, las cuales se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 8  
Etapa 1 y 2. Escenario 2

Etapa 1 Tecnologías I4	Escenario 2 Puntos críticos de producción			Etapa 2 Tecnologías I4	Escenario 2 Puntos críticos de producción		
	IyD	MdO	NA		IyD	MdO	NA
Big data y analytics	X			Big data y analytics			
Robots autónomos				Robots autónomos			X
Simulación				Simulación			
Integración H y V del proceso				Integración H y V del proceso			X
Internet industrial de las cosas	X			Internet industrial de las cosas			
Ciberseguridad				Ciberseguridad			X
La nube				La nube			
Fabricación aditiva				Fabricación aditiva			
Realidad aumentada				Realidad aumentada			

Fuente: Elaboración propia.

El uso de maquinaria en mayor proporción que la mano de obra es en un pedestal alto que permite reducir las etapas; así, en solo dos etapas, se logra tener las herramientas necesarias para dar el salto de I1 e I2 a I4.

**Resultados directos.** Se maneja la información generando una cadena de valor en la producción, que involucra a la fábrica, al cliente y a los proveedores; y se incrementa la eficiencia, al no tener tiempos de parada y al poseer un mejor control de la producción (especialmente, qué se produce y cuándo), lo cual acarrea un retorno monetario que permite competir con productos no solo de competencias nacionales, sino que se integran al mercado internacional.

Tabla 9  
Resumen de logros. Escenario 2

Tecnologías I4	Escenario 2
Big data y analytics	X
Robots autónomos	X
Simulación	
Integración H y V del proceso	X
Internet industrial de las cosas	X
Ciberseguridad	X
La nube	
Fabricación aditiva	
Realidad aumentada	

Fuente: Elaboración propia.

Nuevamente, no se plantea como necesidad comprar nueva maquinaria o planes complejos de manejo de personal.

### Escenario 3

El tercer escenario está más cerca de lo necesario para implementar I4. Debido a ello, lo planteado busca optimizar su índice de producción, así como integrarlo a la cadena de valor (fábrica, cliente y proveedor) de manera automatizada con la plataforma correspondiente de sostenibilidad y trazabilidad en la producción y la posventa.

Tabla 10  
Etapa 1. Escenario 3

Etapa 1 Tecnologías I4	Escenario 3 Puntos críticos de producción		
	IyD	MdO	NA
Big data y analytics	X		
Robots autónomos		X	
Simulación			
Integración H y V del proceso			X
Internet industrial de las cosas	X		
Ciberseguridad	X		
La nube			
Fabricación aditiva		X	
Realidad aumentada			

Fuente: Elaboración propia.

Como se observa, este escenario convierte a la fábrica en un sistema completamente integrado, con capacidad de predecir cambios y adaptarse a ellos, y abierto a la integración de nuevas tecnologías como el uso de la nube, simulaciones y realidad aumentada. Esto potencia no solo sus índices de producción, sino también su visión de futuro.

### Claves de Industria 4.0

Si bien las ideas erróneas de aplicar tecnología a los sistemas de producción plantean que provocará consecuencias inmediatas como el despido masivo y los trastornos sociales de pobreza y desocupación, la realidad de Industria 4.0 es distinta. Esta plantea necesidades para los jóvenes nacidos en la era digital y que viven con capacidades que hace 30 o 40 años no se tenían. Ahora bien, esto permite involucrar de manera activa a las nuevas generaciones en actividades de soporte requerido; estas son las llamadas claves de Industria 4.0 [8].

A continuación, se muestran los ejes de una industria y lo que permitirá que se denomine inteligente.

- **Diseño.** Uso de métodos colaborativos, diseño masivo de productos personalizados, diseño que garantiza la sostenibilidad del producto y la evolución digital del portafolio de productos.
- **Fabricación.** Medios productivos flexibles y eficientes, flexibilidad de la producción, tareas automatizadas, impacto ambiental reducido del proceso productivo, procesos de fabricación autorregulables y reducción de costos.
- **Logística.** Modelos logísticos inteligentes, automatización de procesos, reducción de *stock*, impacto ambiental reducido del proceso y más referencias para menos tiradas.
- **Distribución y venta.** Digitalización de canales y gestión omnicanal; conexión en tiempo real entre empresa, producto y cliente; distribución eficaz y personalizada; predicción de hábitos de consumo; y relación posventa con el cliente.

### Caso de aplicación

Abordaremos un caso que se centra en el escenario 2, cuya problemática se presenta a continuación:

#### Fase 1. Problemática

Una empresa textil presentaba el problema de merma (40 % de la producción por turno) y de eficiencia de producción. En el primer caso, había demasiada merma de tela y, en el caso de producción, las paradas que sufrían las máquinas durante las 24 horas del día también eran demasiadas (por semana se registraban 40). Es decir, no se controlaba la merma y tampoco la producción; además, los registros eran mediante formatos escritos en hojas y llenados manualmente para ambos casos, por lo que el supervisor recibía la información al final del día.



Figura 2. Tecnología usada en la planta textil.  
Fuente: <https://bit.ly/2otYCF8>

#### Fase 1. Solución planteada

Para la solución en esta primera fase, se atacó el problema usando la estrategia descrita anteriormente (escenario 2); es decir, IoT, para recolectar información, y la recopilación y uso de esa información mediante *big data* y *analytics*. Para ello, se tuvo en cuenta que la máquina tejedora gira cuando está en funcionamiento, es decir, cuando está produciendo, y deja de girar cuando se dan eventos como rotura de hilo, cambio de fardo y fallas en el sistema. Luego de determinar el modo de funcionamiento de la máquina, se procedió a planificar la solución técnica, la cual incluía la instalación de un sistema que determine si la máquina giraba o no. Para ello, se instaló un detector inductivo, el cual producía un pulso cada vez que la máquina completaba una vuelta.

Mientras se producen estos pulsos, se puede tener la certeza de que la máquina está funcionando y, por lo tanto, está produciendo; por el contrario, si estos pulsos no se producen, es porque la máquina está parada y no está en producción. Es decir, se empezó a recabar información mediante la implantación de un sensor del tipo inductivo. Los pulsos del detector se envían al computador industrial, el cual almacena la data y la analiza para determinar, mediante un algoritmo, el tiempo entre pulsos, esto es, el periodo. Si este periodo crece, es porque la máquina ha parado.

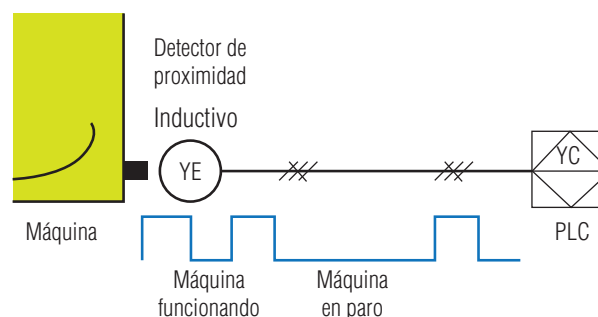


Figura 3. Fase 1. Solución.  
Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con el tiempo de parada, se determina el tipo de evento que produce la parada, lo cual se identifica mediante una codificación como la siguiente:

- 1 parada por rotura de hilo
- 2 paradas por cambio de fardo
- 3 paradas por fallas en la máquina

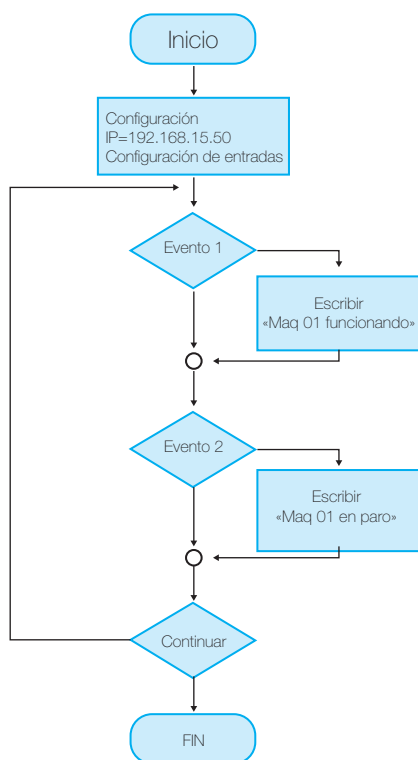


Figura 4. Diagrama de flujo del programa.  
Fuente: Elaboración propia.

La información se envía al servidor para su procesamiento, donde se puede determinar cuántas paradas por día ha tenido la máquina y cuál ha sido el tipo de parada; con esto se calcula la eficiencia de la máquina y la producción diaria.

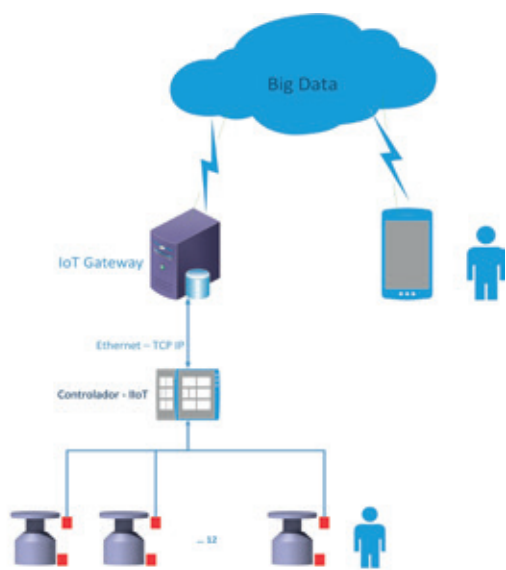


Figura 5. Arquitectura de comunicación.  
Fuente: Elaboración propia.

## Fase 2. Problemática

No se disponía de un control de la cantidad de hilo que ingresaba por área de tela tejida y, por lo tanto, del consumo de hilo y de la calidad de la tela. Por ejemplo, en un caso, un m<sup>2</sup> podía tener una cantidad de hilo distinta al siguiente m<sup>2</sup>, el cual podría tener otra cantidad de hilo. Esto conllevaba como problema la mala calidad de la tela al no tener la misma cantidad de producto en toda su extensión (las encuestas de satisfacción por el producto por parte del cliente llegaban a un 22 %).

## Fase 2. Solución planteada

Se obtuvo la solución aplicando, en este caso, un proceso de integración que permitió, con la ayuda de un segundo sensor (sensor óptico), contar la extensión del hilo usado en un lapso de producción. Esto permitiría identificar si las piezas de tela contenían la misma cantidad de producto. Para ello, se integró la información combinada de las fases 1 y 2 para el cálculo de lo que se denominó la densidad de la tela, índice que determinaba su calidad.

Esto se calculaba cada cierto tiempo de tal forma que determinaba si la tela contenía o no la misma cantidad de material en toda su extensión.

El valor de la inversión realizada por máquina se estimó en, aproximadamente, 270 dólares americanos. Considerando el *hardware* instalado para un total de 50 máquinas (valor promedio de una fábrica mediana), resulta en una inversión total de 13 500 dólares americanos.

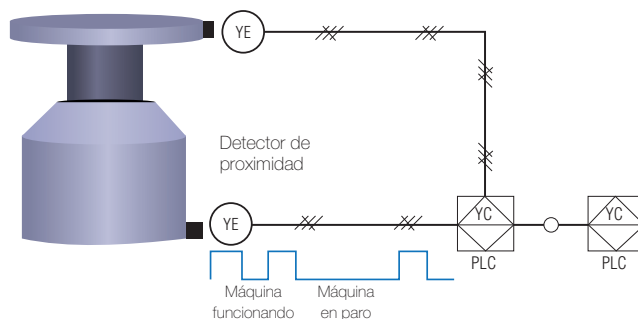


Figura 6. P&ID de fases 1 y 2 de instrumentación.  
Fuente: Elaboración propia.

## CONCLUSIONES

Luego de tener una visión de la realidad tecnológica en nuestro país, de realizar un estudio de la aplicabilidad de Industria 4.0 y de presentar un caso práctico de aplicación, podemos concluir lo siguiente:

- La inversión económica a gran escala no es un factor indispensable en la aplicación de I4 a nuestra realidad tecnológica.
- La aplicación parte de identificar los puntos clave del escenario a tratar para plantear la estrategia adecuada, que no solo muestre el cambio, sino que en el proceso se agregue valor a la actividad del cambio planteando



una estrategia que genere sinergia y que motive a la fábrica a ir a la etapa siguiente, integrándose cada vez más al concepto de I4.

- Las etapas a seguir se diseñarán a medida y según los alcances que la fábrica plantee, priorizando la recolección de información y el concepto de análisis de datos a través de un proceso de integración H y V de los procesos productivos.
- La estrategia planteada no solo se debe enfocar en la parte técnica del proceso productivo, sino que, además, debe involucrar a los elementos fundamentales de la cadena de valor en la producción (el cliente, la fábrica y los proveedores).
- Con el caso práctico presentado, se muestra cómo integrar esto en un proceso de producción que tiene problemas en diversos aspectos, tales como la calidad del producto, las pérdidas por merma, y la falta de control y de información actualizada. La instalación de sensores de bajo costo, y la realización de una integración de la información a nivel de campo en primera instancia y a nivel de gestión y análisis de datos en una segunda instancia permitió eliminar y reducir en casi un 93 % el problema de merma y en un 95 % el problema de control en los diferentes turnos de trabajo (reportes de parada). En consecuencia, se obtuvo la mejora de la calidad del producto, la cual generó un 80 % de aceptación del cliente, que supera en casi un 60 % lo que se tenía antes. Finalmente, la data recopilada permite tener un récord casi en tiempo real de los niveles de producción de cada máquina.
- Los procesos de actualización hacia la tecnología I4 no implican cambiar equipos y maquinarias. Llevar una fábrica a producir en un entorno I4 es realizar una reingeniería de adaptación y un manejo de recursos que minimizan gastos, potencian capacidades no usadas y, sobre todo, generan sinergia económica que se evidencia en mejoras cuantitativas y cualitativas en la producción. Muestras de esto ya se encuentran en marcha, tal como ocurre, por mencionar solo una, con la planta de Bosch en Blaichach, Alemania.

### Proyectos en ejecución

A partir de los conceptos planteados en este estudio, en la actualidad, los autores se encuentran trabajando en dos proyectos en los que se están aplicando los principios de Industria 4.0. Estos son los siguientes:

- **Módulo de control en cascada.** Proceso de reingeniería para actualizar y poner en vigencia un módulo de control industrial, al cual se le aplicará la estrategia de control en cascada en un proceso industrial, pero con las capacidades de integrarse a un entorno automatizado; esto permitirá la recopilación de datos en tiempo real del proceso controlado.

- **Planta piloto Tecsup.** Proyecto para aplicar las tecnologías de IoT industrial, integración H y V del proceso, *big data* y *analytics*, además de realidad aumentada para adaptar el proceso de molienda de minerales a un entorno educativo en Industria 4.0.

### REFERENCIAS

- [1] Computerworld from IDG. (2018). *La nueva unidad Industria 4.0 de Bosch alcanza los 500 empleados*. Computerworld from IDG. Recuperado de <http://www.computerworld.es/tecnologia/la-nueva-unidad-industria-40-de-bosch-alcanza-los-500-empleados>
- [2] Federación regional de Empresarios del Metal Murcia. (2018). *Bosch lidera la Industria 4.0 con productos innovadores*. FREMM. Recuperado de <http://www.fremm.es/portal/category/1941-Bosch-lidera-la-Industria-4.0-con-productos-innovadores.html>
- [3] Fierro Santillán, C. (2017). *La cuarta revolución industrial en la educación*. Iberoamérica divulga. Recuperado de <http://www.oei.es/historico/divulgacioncientifica/?La-cuarta-revolucion-industrial-en-la-educacion>
- [4] Joyanes, L. (2017). *Industria 4.0*. México: Alfaomega.
- [5] Ranz, R. (2016). *La revolución digital: el impacto de la industria 4.0 en el empleo y la educación*. Roberto Ranz. Recuperado de <https://robertoranz.com/2016/06/06/la-revolucion-digital-el-impacto-de-la-industria-4-0-en-el-empleo-y-la-educacion/>
- [6] Tecnología para los negocios. (2018). *Industria 4.0: las claves de la 'empresa inteligente'*. Tecnología para los negocios. Recuperado de <https://ticnegocios.camaravalencia.com/servicios/tendencias/industria-4-0-las-claves-de-la-empresa-inteligente/>
- [7] Andelfinger, V. y Hänisch, T. (2017). *Industrie 4.0*. Germany: Springer Gabler.
- [8] Roddeck, W. (2013). *Grundprinzipien der Mechatronik*. Deutschland: Springer Vieweg.

### ACERCA DE LOS AUTORES

#### José J. Lazarte Rivera

Ingeniero electrónico por la Universidad Nacional de Ingeniería. Ha participado en programas de entrenamiento en Aplicaciones Industriales de la Electrónica en el Instituto Politécnico de Incheon en Corea del Sur. Graduado del programa Fab Academy en 2014 en Fabricación Digital.

Posee certificación Train the Trainer, otorgada por Bosch Rexroth de Alemania, en Sistemas de Automatización – Industria 4.0. Tiene experiencia en mantenimiento electrónico y desarrollo de soluciones en el campo de la electrónica industrial, y como consultor de empresas locales. Profesor a tiempo completo en Tecsup, dicta cursos relacionados con Electrónica Analógica y Digital. Tiene a su cargo el laboratorio de Electrónica de Potencia en el Departamento de Electricidad y Electrónica de Tecsup. Asimismo, dicta cursos de especialización y diplomados para profesionales de la industria, especialmente, en temas de control electrónico de potencia y control automático de motores eléctricos.

@jlazarte@tecsup.edu.pe

### **Miguel A. Chávez Luna**

Profesional en Electrónica y Sistemas Computarizados por Tecsup. Bachiller en Ingeniería Industrial por la Universidad Antonio Ruiz de Montoya. Candidato a máster en Control y Automatización por la Pontificia Universidad Católica del Perú. Ha participado en programas de especialización en Adquisición de Datos y Control por Computadora en EE. UU., Ingeniería Mecatrónica en México y Brasil, y Sistemas de Automatización en Alemania. Posee certificación Train the Trainer, otorgada por Bosch Rexroth de Alemania, en Sistemas de Automatización – Industria 4.0. Miembro de IEEE en la sección de Robótica y Automatización. Profesor a tiempo completo en Tecsup, dicta cursos relacionados con automatización industrial y sistemas mecatrónicos.

@mchavez@tecsup.edu.pe

### **Manuel M. Alvarado Andrade**

Ingeniero electrónico por la Universidad Ricardo Palma. Ha estudiado una maestría en Administración de Negocios en la Universidad Politécnica de Madrid, un diplomado en Gestión de Proyectos en la Universidad Privada de Piura y una especialización en Electrónica Aplicada en el SENAI de Brasil. Es miembro directivo de ISA Perú. Ha realizado diferentes trabajos para la industria en el área de Automatización. Profesor a tiempo completo en Tecsup, dicta cursos del área de Automatización: Proyectos de Automatización y Proyectos Mecatrónicos. Tiene a su cargo el Laboratorio de Medición y Control. Participa en el dictado de cursos de especialización y diplomados para profesionales de la industria. Actualmente, es coordinador de la carrera de Mecatrónica Industrial.

@malvarado@tecsup.edu.pe

Recibido: 10-04-19

Revisado: 27-06-19

Aceptado: 02-07-19



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución-  
NoComercial 4.0 Internacional.