

SISTEMA DE MANUFACTURA FLEXIBLE ORIENTADO A INDUSTRIA 4.0

**David Trajano Basantes Montero¹,
Sylvia Nathaly Rea Minango²,
Daniel Isaías Barzallo Núñez¹**

dtbasantesm@gmail.com,snrea@outlook.com, dibarzallon@gmail.com

¹Instituto Superior Tecnológico Central Técnico

²Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE

Resumen

Actualmente la competencia global, desarrollo tecnológico e innovación, presenta un reto para las empresas, sobretodo de manufactura, pues se ven forzadas a reconfigurar sus procesos para el creciente mercado de productos personalizados. La industria 4.0 y la manufactura generan una transformación, en la que las tecnologías tanto de fabricación como de la información se han integrado para crear eficientes sistemas de producción, gestión y formas de hacer negocios. Esta investigación tiene como objetivo analizar la influencia de las herramientas tecnológicas orientadas a Industria 4.0 en el incremento de la flexibilidad de un sistema de manufactura de forma aplicada, implementando sistemas de integración vertical y horizontal, análisis de datos, nube y simulación en sistemas de producción modular para la obtención de datos. Se determinó la flexibilidad alcanzada en función a los parámetros de un sistema de manufactura flexible: variedad de partes, cambio de programación, recuperación de errores y nuevas partes, permitiendo automatizar los procesos de fabricación, así como atender de forma oportuna las necesidades del mercado, promoviendo el crecimiento de la industria nacional en conceptos de flexibilidad e Industria 4.0 aplicada.

Palabras Claves— Manufactura, Flexibilidad, Industria 4.0, Redes Industriales, Interfaz Hombre Maquina, Sistemas de producción modular.

Abstract

Currently, global competition, development technological and innovation present a challenge for companies, above all for manufacturing, as they are forced to reconfigure their processes for the growing market of personalized products. Industry 4.0 and manufacturing generates a transformation, in which both manufacturing and information technologies have been integrated to create efficient systems of production, management and ways of doing business. The objective of their search is to analyze the influence of technological tools oriented to Industry 4.0 in their crease of the flexibility of a manufacturing system applied, implementing vertical and horizontal system integration, data analysis, cloud and simulation in production systems modular for obtaining data. The flexibility reached was determined according to the parameters of a flexible manufacturing system: variety of parts, programming change, error recovery and new parts, allowing to automate the process manufacturing, as well as to attend in a timely manner the market needs, promoting the growth of the national industry in concepts of flexibility and applied Industry 4.0.

Keywords — Manufacturing, Flexibility, Industry 4.0, Industrial Networks, Man Machine Interface, Modular production systems.

Los conceptos de la Industria 4.0 actualmente desafían a las empresas de fabricación en varias divisiones, tales como compras, producción, logística, ventas y recursos humanos. Los recientes avances en la industria manufacturera permiten que la información de todas las perspectivas relacionadas, se monitoreen de cerca y se sincronicen entre el nivel físico de la fábrica y el espacio cibernético computacional. Además, al utilizar el análisis avanzado de la información, las máquinas en red podrán rendir de manera más eficiente y colaborativa. Dicha tendencia está transformando la industria manufacturera a la siguiente generación, es decir, la Industria 4.0. (Lee, Bagheri, & Kao, 2015)

La automatización tendrá efectos de amplio espectro en todas partes y sectores, aunque es un fenómeno global, cuatro economías (China, India, Japón y los EE.UU.) representan un poco más de la mitad del total de salarios y casi dos tercios del número de empleados asociados con actividades que son automatizables si se adaptan las tecnologías probadas en la actualidad. (Manyika, y otros, 2017)

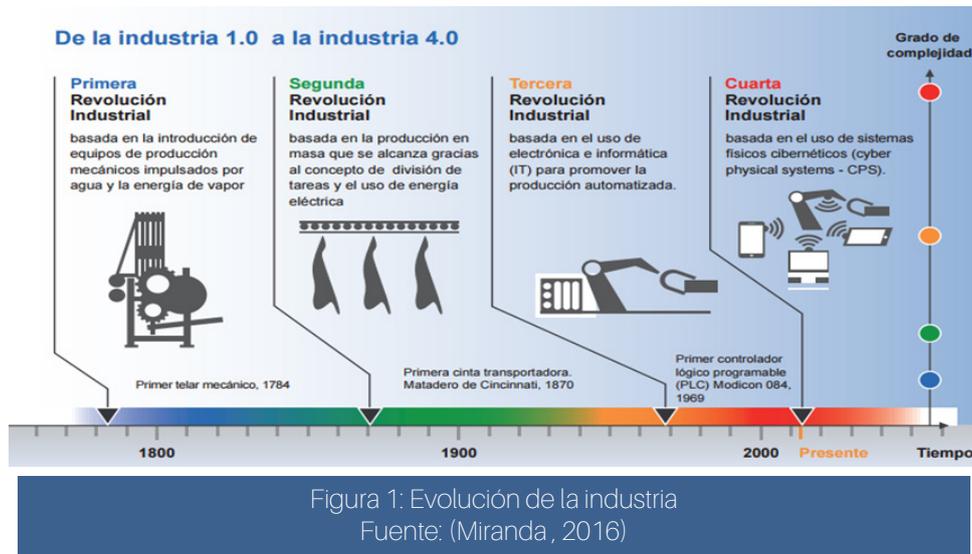
En América Latina el 60% de los trabajos son susceptibles de automatizar, en Ecuador un 49% de los procesos manuales son susceptibles de ser reemplazadas por alta tecnología. (Banco Mundial, 2016) La producción industrial actual se enfrenta a muchos desafíos críticos ya que los usuarios finales requieren continuamente productos altamente personalizados en pequeños lotes. (Wang, Wan, Zhang, Li, & Zhang, 2016)

Ecuador ocupa el puesto número 60 del mundo en función del producto industrial, siendo la octava economía industrial de América

Latina. “El nivel de automatización que presentan las industrias, es en accionamiento manual 48%, semiautomático 27%, automático 18%, y computarizado con 7%. Los resultados presentados dan a conocer el bajo nivel de tecnología que está presente en las PYMES” (Sánchez & Pizarro, 2010, pág. 1) dejando a un lado la integración vertical de varios componentes para implementar un sistema de fabricación flexible y reconfigurable es decir una fábrica inteligente. En industrias de altos niveles de producción por la gran demanda, estos métodos se tornan ineficientes generando productos de mala calidad, poco confiables y aumentado su costo.

El sector industrial ecuatoriano se caracteriza por una presencia predominante de ramas intensivas en recursos naturales y trabajo, y menor presencia de ramas intensivas en ingeniería. Hacia el año 2013, los sectores intensivos en ingeniería explicaban algo menos del 10% del empleo y del valor agregado industrial. Por su parte, las ramas intensivas en trabajo concentraban el 41% del empleo, y el 17% del valor agregado manufacturero. El papel central lo ocupan las ramas intensivas en recursos naturales que explicaban en 2013 casi la mitad del empleo industrial, y el 73% del valor agregado sectorial. (Garzón, Kulfas, Palacios, & Tamayo, 2016)

El término Industria 4.0 se refiere a un nuevo modelo de organización y de control de la cadena de valor a través del ciclo de vida del producto y a lo largo de los sistemas de fabricación apoyado y hecho posible por las tecnologías de la información. El Gobierno alemán ha propuesto y adoptado una iniciativa estratégica denominada “Industrie 4.0” como parte del “Plan de Acción de la Estrategia de Alta Tecnología 2020”.



En esta transformación de las empresas, los sensores, las máquinas, las piezas de trabajo y los sistemas de TI tecnologías de la información, pueden interactuar entre sí para obtener previsiones más fiables, poder configurarse ellos mismos, y adaptarse a los cambios (Gerbert, y otros, 2015). En la Figura 1 se muestra una línea de tiempo con la evolución que ha tenido la industria.

DESARROLLO

El proyecto tuvo un enfoque cuantitativo, porque se manipuló un número de técnicas de Industria 4.0 para ejercer control sobre ellas y obtener datos cuantificables para verificar su influencia sobre la flexibilidad a través de sistemas de producción modular. Estos datos provienen del análisis de los parámetros de un sistema flexible. La Figura 2 muestra gráficamente la metodología aplicada en el desarrollo de la investigación. Tomando en cuenta el funcionamiento base de cada sistema de producción modular, se generó una ficha de observación que se muestra en la Tabla 1.

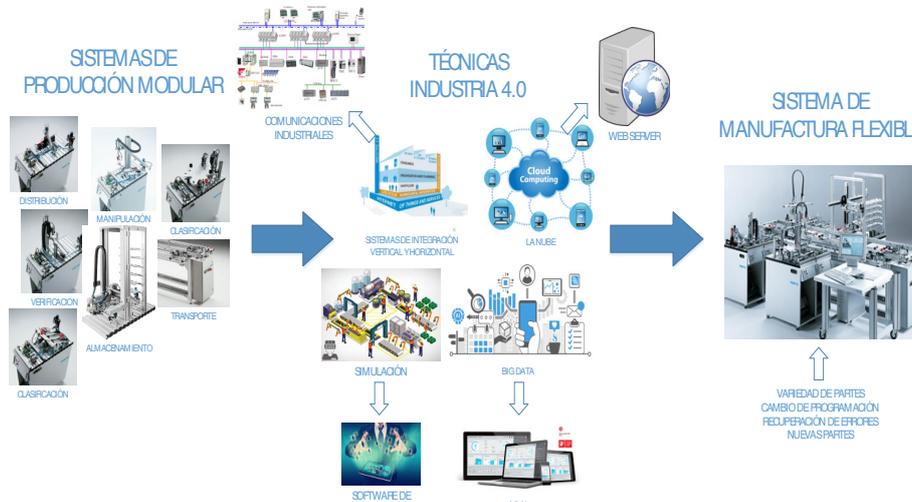


Figura 2: Metodología para resolver la problemática
Fuente: El Autor

Tabla 1: Ficha de observación del sistema de manufactura modelo

FICHA DE OBSERVACIÓN DEL ESTADO DEL SISTEMA DE MANUFACTURA MODELO					
ESTACIONES PARAMETRO	MERCANCIAS ENTRANTES	PROCESO	ALMACÉN	MERCANCIAS SALIENTES	TRANSPORTE
Porcentaje actual de funcionamiento	35%	5%	5%	27.5%	5%
Mantenimiento y Calibración	Sensores magnéticos, ópticos capacitivos, resistivos análogos y presostatos.	Finales de carrera, sensores magnéticos, ópticos capacitivos e inductivos	Finales de carrera, sensores magnéticos y encoders.	Sensores magnéticos, ópticos capacitivos e inductivos	Sensores magnéticos ópticos de barrera e inductivos.
Red nivel campo	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	Red AS-interface no funcional
Red nivel célula	Red ProfibusDP no funcional	Red ProfibusDP no funcional	Red ProfibusDP no funcional	Red ProfibusDP no funcional	Red ProfibusDP no funcional
Variedad de producción	No se puede determinar pues no genera ningún tipo de producto	No se puede determinar pues no genera ningún tipo de producto	No se puede determinar pues no genera ningún tipo de producto	No se puede determinar pues no genera ningún tipo de producto	No se puede determinar pues no genera ningún tipo de producto

Fuente: El Autor

Según los parámetros de flexibilidad establecidos, se determina la siguiente situación actual del sistema en la Figura 3.

Porcentaje Logrado	Funcionamiento del sistema	Daño presente del sistema	Variedad de partes	Cambio de programación	Recuperación de errores	Nuevas partes
Distribución	50%	1%	0%	20%	0%	0%
Verificación	20%	20%	0%	10%	0%	0%
Manipulación	5%	1%	0%	5%	0%	0%
Maquinado	5%	1%	0%	5%	0%	0%

Fuente: El Autor

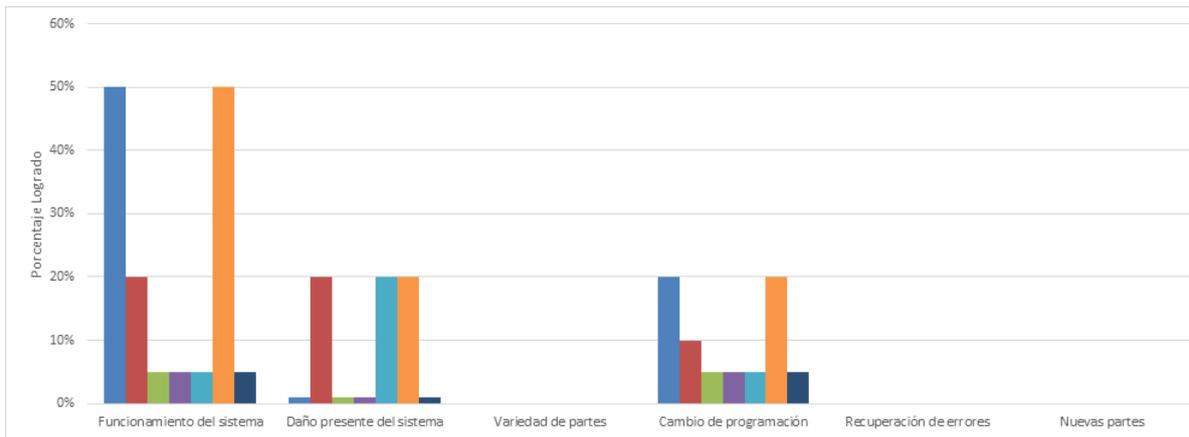


Figura 3: Análisis situación inicial
Fuente: El Autor

Integración Horizontal y Vertical del sistema

La integración horizontal y vertical del sistema de manufactura modelo como parte de las tecnologías de Industria 4.0 aplicables, se logró a través de la implementación de comunicaciones industriales tales como Bus AS-I, ProfibusDP, Industrial Ethernet, Profinet tal como se muestra en la Figura 4.

Análisis de datos

Para realizar un análisis de datos orientado a Big Data se desarrolló una interfaz humana máquina desde la cual se obtiene el control y visualización de las principales tareas de cada estación MPS, así como los datos de producción necesarios indicado en la Figura 5.

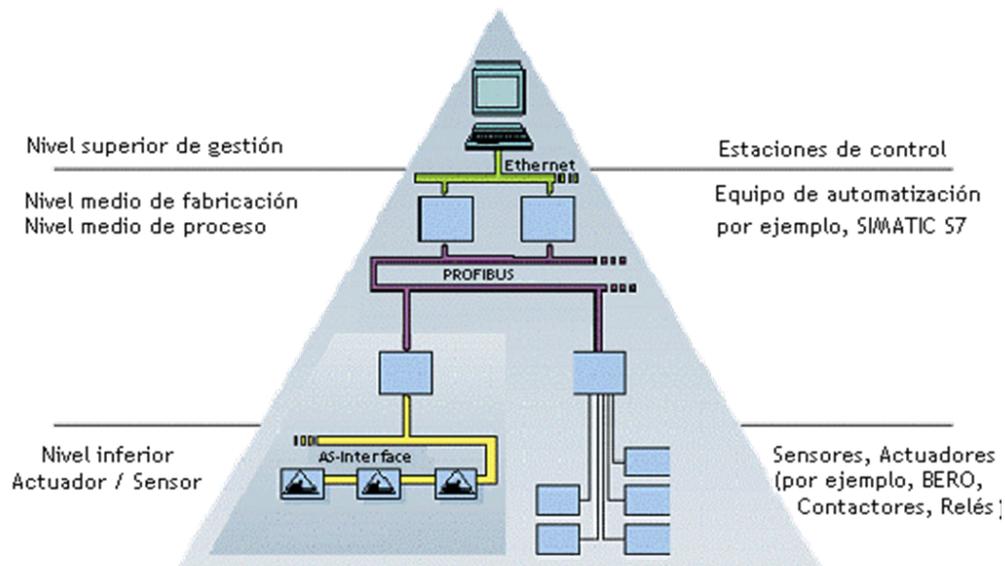


Figura 4: Diferentes niveles de comunicación industrial
Fuente: (Guerrero, Yuste, & Martínez, 2010)

La Nube

Como parte de la investigación se propuso integrar tecnologías Industria 4.0, siendo la nube una de las funciones que mejor se acopla al desarrollo del sistema de manufactura modelo, se optó por el desarrollo de una aplicación web en la plataforma de nube GoDaddy dedicada a pequeñas empresas independientes que cuenta con más de 18 millones de clientes en todo el mundo y la gestión de más de 77 millones de nombres de dominio.

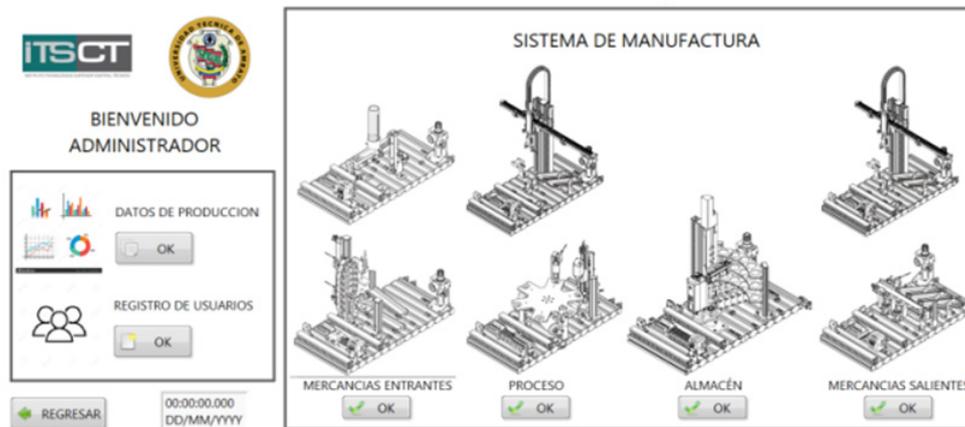


Figura 5: Ventana del administrador HMI
Fuente: El Autor

Simulación

Una de las técnicas orientadas a Industria 4.0 es el uso de estos sistemas de simulación en este caso el personal directamente relacionado con la operación del sistema de manufactura modelo puede obtener una visión generalizada del funcionamiento de cada una de las estaciones consideradas. El software Ciros de Festo es una poderosa herramienta de desarrollo industrial de simulación 3D para automatización de procesos y fábricas, proporciona entre sus ejemplos prácticos el entorno simulado de un sistema de manufactura MPS 507-FMS válido como simulación de nuestro sistema de manufactura modelo implementado.

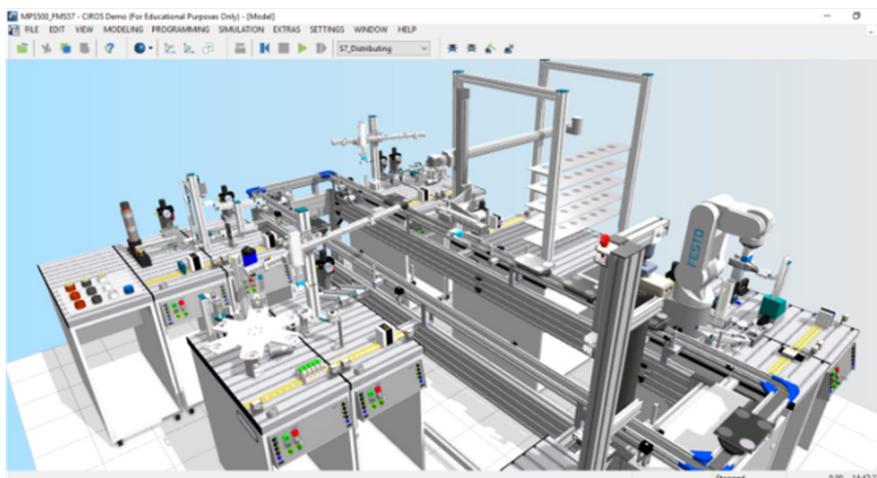


Figura 6: Simulación sistema de manufactura
Fuente: Ciros

Las pruebas se desarrollaron tomando en cuenta dos fases importantes del proyecto, en primera instancia se verificó el funcionamiento base previamente establecido de cada uno de los MPS y su parcial integración analizando la capacidad de flexibilidad del sistema, para

después en función de las técnicas de Industria 4.0: Integración Horizontal y Vertical, Big Data, La Nube y Simulación aplicadas determinar el incremento de flexibilidad alcanzado según los parámetros establecidos del sistema de manufactura modelo.

Fase 1:

Posterior al análisis de la situación inicial, el mantenimiento realizado, el levantamiento de planos y diagramas, la configuración y programación base implementada en los sistemas MPS se determina el funcionamiento del sistema de manufactura en base al análisis de los parámetros de flexibilidad.

Análisis de variedad de partes

Debido a la implementación base del sistema solo es posible contar con un tipo de variedad de cilindros debido a la configuración inicial implementada de tal manera que:

- Tipo de material: Único
- Tamaño: Único

La estación de maquinado obedece órdenes del operador siendo necesario la implementación de un lazo de control descrito a continuación:

- Tipo de maquinado: Único

Por último, la estación de clasificación no cuenta con el siguiente sistema de control necesario para clasificar los colores de los cilindros

- Color: Único

Cambio de programación:

No existe ningún tipo de red a nivel célula por ende la falta de comunicación horizontal entre estaciones de producción impide que el sistema de manufactura soporte cambios de programación, el sistema no puede reconfigurarse automáticamente.

Recuperación de errores:

Ya que el sistema de manufactura base implementado no posee una comunicación vertical entre niveles de producción tampoco una interfaz humana máquina de control y supervisión no se puede establecer alarmas de error para que el operador pueda actuar según sea el caso.

Nuevas partes:

Debido a la falta de tecnologías de la información implementadas y el nulo análisis de producción para el posible mercado faculta la imposibilidad e innecesaria acción de introducir nuevos diseños a los existentes.

Fase 2:

A continuación de la fase uno y el análisis de los resultados obtenidos, se implementan las tecnologías orientadas a Industria 4.0 en el sistema de manufactura modelo y se determina su flexibilidad ante los parámetros establecidos obteniendo los siguientes resultados.

Análisis de variedad de partes

Tras la implementación de los sistemas de control necesarios y M2M *Machine-to-machine communication* como parte de las tecnologías orientadas a Industria 4.0 dentro de la integración horizontal y vertical implantada en el sistema de manufactura modelo específicamente brindado la comunicación necesaria a las estaciones de producción a través de la red Profibus, se logra que en función de los requerimientos del operador el sistema pueda producir nueve variedades de cilindros.

Tabla2: Variedad de partes

TAMAÑO	MATERIAL	MAQUINADO	COLOR
Grande	Plástico	Martillado	Rojo
		Taladrado	Rojo
		Martillado/taladrado	Rojo
	METÁLICO	Martillado	Plata
		Taladrado	Plata
		Martillado/taladrado	Plata
Pequeño	Plástico	Martillado	Negro
		Taladrado	Negro
		Martillado/taladrado	Negro

Fuente: El Autor



Figura 7: Cilindros maquinados

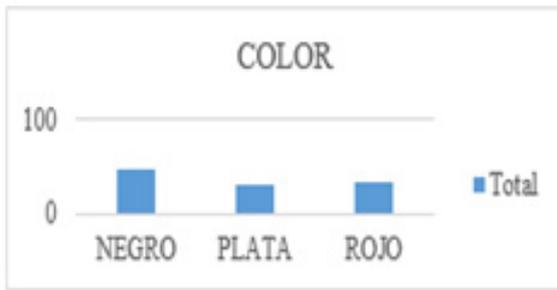


Figura 8: Cilindros clasificados por color

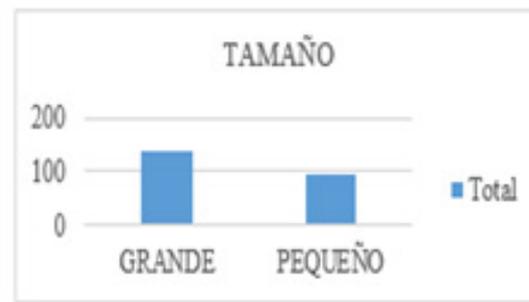


Figura 9: Cilindros clasificados por tamaño

Fuente: El Autor

Cambio de programación:

En base a M2M y HMI implantados en el sistema de manufactura modelo a través de las redes AS-i, Profibus, Profinet, y Ethernet Industrial es posible cambiar la programación en función de los requerimientos del operador por medio de la interfaz de control. Desde la perspectiva del operador se establece la facilidad requerida para que los sistemas sean puestos en marcha o paro y brinden toda la información pertinente en cuanto a producción se refiere para determinar el cambio de la programación de producción en función a la variedad de partes analizada.

Recuperación de errores:

Con la implantación del HMI el operador tiene a su disposición alarmas ante las posibles fallas o errores que se puedan suscitar en el sistema para actuar según corresponda con la posibilidad de parar y aislar del proceso el sistema afectado. La capacidad de recuperación de errores brindada por el cambio de programación susceptible es uno de los parámetros más importantes en cuanto a nivel de flexibilidad se refiere.

Nuevas partes:

Por último, la necesidad de introducir nuevas partes está estrechamente vinculada con el análisis de datos de producción generado por medio de la integración del sistema de manufactura modelo, así como el acceso en tiempo real de dichos datos a través de la nube. El sistema actualmente brinda esa posibilidad de forma eficiente. Sin olvidar la importancia de un análisis previo de factibilidad en cuanto a nuevas partes fabricadas a través del uso de sistemas de simulación en específico el presentado anteriormente con el que cuenta el sistema de manufactura modelo.

Es importante destacar que el sistema de manufactura modelo fue sometido a varias pruebas antes de la obtención de los resultados presentados, los niveles de flexibilidad se establecen en comparación a una programación base implantada siguiendo la línea de fabricación de un único producto, no obstante, el objetivo establecido se enfoca directamente en el impacto que el desarrollo y aplicación de tecnologías orientadas a Industria 4.0 generó en el sistema. En resumen, el análisis de flexibilidad del sistema de manufactura se presenta a continuación:

Tabla 3: Resumen pruebas

	VARIEDAD DE PARTES	RESULTADO	TECNOLOGÍAS INDUSTRIA 4.0
FASE 1	VARIEDAD DE PARTES	11%	NA
	CAMBIO DE PROGRAMACIÓN	NO	NA
	RECUPERACIÓN DE ERRORES	NO	NA
	NUEVAS PARTES	NO	NA
FASE 2	VARIEDAD DE PARTES	100%	Integración vertical y horizontal de sistemas
	CAMBIO DE PROGRAMACIÓN	SI	Interfaz humano máquina
	RECUPERACIÓN DE ERRORES	SI	Integración vertical y horizontal de sistemas, Interfaz humano máquina
	NUEVAS PARTES	SI	Análisis de datos, la nube, simulación



Figura 10: Sistema de manufactura
Fuente: El Autor

CONCLUSIONES

Haber alcanzado un nivel de capacidad en cuanto a variedad de partes del 100% en comparación al 11% inicial con la integración horizontal y vertical del sistema determina que dicha tecnología es fundamental para cumplir uno de los parámetros de flexibilidad establecidos, el resto de parámetros al ser netamente cualitativos sus resultados se expresan en niveles de cumplimiento y facilidad de aplicación, a través de la interfaz humano máquina, la cual brinda la capacidad de controlar todo el sistema desde un dispositivo en este caso una PC, más todos los datos adquiridos generados por cada estación, cada área y cada sensor desde los niveles de oficina, de planta de célula y campo respectivamente integra totalmente el sistema enfocado en la factibilidad de cambios de programación y recuperación de errores.

Al determinar los elementos que interviene en el sistema se habla de un total de 50 actuadores entre indicadores, válvulas, salidas parametrizadas y motores. Por otra parte, un total de 150 señales de entrada de presostatos, sensores magnéticos, ópticos, inductivos, capacitivos, encoders, pulsadores, selectores y entradas parametrizadas que sin el manejo adecuado a través de la adquisición de datos implantada su

control, visualización análisis y registro no sería posible, esto fundamenta la relativa facilidad con la que un cambio de programación es factible, incluso detección inmediata de fallas.

El análisis de nuevas partes a ser introducidas será determinado gracias al uso de herramientas de simulación propuestas, ya que el ahorro sustancial en temas de implementación para determinar la factibilidad de nuevas partes producidas constituye el principal factor de análisis.

Se determinó la influencia de las herramientas tecnológicas orientadas a Industria 4.0 del sistema de manufactura modelo a través del análisis cuantitativo y cualitativo con respecto a los parámetros establecidos obteniendo como resultado un importante incremento de la flexibilidad del sistema.

La aplicación de nuevas herramientas tecnológicas en función al desarrollo de los sistemas de manufactura incentiva directamente al crecimiento de la industria nacional en conceptos de flexibilidad en cuanto a fabricación de productos, así como la capacidad de análisis de dichas posibilidades dentro de laboratorios provistos de sistemas a escala y técnicas de simulación para el desarrollo de la educación técnica superior.

BIBLIOGRAFÍA

Ali Khan, W., Wisniewski, L., Lang, D., & Jasperneite, J. (2017). Analysis of the Requirements for Offering Industrie 4.0 Applications as a Cloud Service. 017 IEEE 26th International Symposium on Industrial Electronics (ISIE), 1181-1188.

Banco Mundial. (2016). Dividendos digitales. Informe sobre el desarrollo mundial.

Brettel, M., Klein, M., & Friederichsen, N. (2016). The relevance of manufacturing flexibility in the context of Industrie 4.0. *Procedia CIRP* 41, 105-110.

D'Emilia, G., & Gaspari, A. (2018). Data Validation Techniques for Measurements Systems Operating in a Industry 4.0 Scenario a Condition Monitoring Application. 2018 Workshop on Metrology for Industry 4.0 and IoT, Brescia, 112-116.

Daneri, P. (2008). *PLC Automatización y Control Industrial*. Buenos Aires: Hispano America S.A.

de la Fuente, E., & Mazaeda, R. (s.f.). *Industria 4.0. Informática Industrial*. Grado Ingeniería Electrónica Industrial y Automática. EII. Universidad de Valladolid.

Del Val Román, J. L. (2016). Industria 4.0: la transformación digital de la industria. Conferencia de Directores y Decanos de Ingeniería Informática.

Deutsches Institut für Normung. (2002). Control Technology - Rules for the Designation of Measuring Instrument. DIN 19223.

García Moreno, E. (1999). Automatización de Procesos Industriales. Universitat Politècnica de València.

Garzón, N., Kulfas, M., Palacios, J., & Tamayo, D. (2016). Evolución del sector manufacturero ecuatoriano 2010-2013 Tipologías estadísticas y dinámicas de las manufacturas. Cuaderno de Trabajo N.1.

Gerbert, P., Lorenz, M., Rößmann, M., Waldner, M., Justus, J., Engel, P., & Harnisch, M. (2015). Industria 4.0: El futuro de la productividad y el crecimiento en las industrias manufactureras. Boston Consulting Group.

González, T., & Ramírez, A. (2015). Control On/Off Sistemas de Control y Controladores. San Cristóbal: Universidad Nacional Experimental del Táchira, Departamento de Ingeniería Electrónica.

Guerrero, V. (2005). BUS AS-I Configuración y programación de una red.

Guerrero, V., Yuste, R., & Martínez, L. (2010). Comunicaciones industriales.

Kagermann, H. (2015). La industria 4.0 llega a los clientes del futuro a través de servicios inteligentes. Weidmüller, S.A.

Kalpakjian, S., & Schmid, S. R. (2008). Manufactura, ingeniería y tecnología. Pearson Educación.

Lee, J., Bagheri, B., & Kao, H.-A. (2015). A Cyber-Physical Systems architecture for Industry. Manufacturing Letters.

Li, C., & Lau, H. (2017). A Critical Review of Product Safety in Industry 4.0 Applications. 2017 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM), 1661-1665.

Li, C., & Lau, H. (2018). Integration of industry 4.0 and assessment model for product safety. IEEE Symposium on Product Compliance Engineering (ISPC), 1-5.

Manyika, J., Chui, M., Miremadi, M., Bughin, J., George, K., Willmott, P., & Dewhurst, M. (2017). Un Futuro que Funciona: Automatización, Empleo Y Productividad. McKinsey Global Institute, 7.

Miranda, A. (2016). Industria 4.0. NC Tech.

Pallás Areny, R. (2004). Sensores y Acondicionadores de Señal. Marcombo.

Pethig, F., Niggemann, O., & Walter, A. (2017). Towards Industrie 4.0 Compliant Configuration of Condition Monitoring Services. 017 IEEE 15th International Conference on Industrial Informatics (INDIN), 271-276.

Sánchez, V., & Pizarro, D. (2010). Diagnóstico del nivel de automatización en las pequeñas y medianas industrias de la ciudad de Cuenca. INGENIUS, Revista de Ciencia y Tecnología.

Smith, C., & Corripio, A. (1991). Control Automático de Procesos Teoría y Práctica. Mexico DF: Limusa.

VDMA German Engineering Federation. (2016). Guiding principles for the implementation of Industrie 4.0 in small and medium sized businesses. Guideline Industrie 4.0.

Waller, D., & Werner, H. (1997). Neumática Nivel Básico. Esslingen: Festo Didactic KG.

Wang, S., Wan, J., Zhang, D., Li, D., & Zhang, C. (2016). Towards smart factory for industry 4.0 a self-organized multi-agent system with big data based feedback and coordination. Li & Zhang Computer Networks, 158-168.