

Automatización de una máquina de construcción nacional madejadora de hilos para la Empresa IMBATEX

Fernando Ortega Loza^{1,2}, Ana Umaquina Criollo², Omar Oña Rocha², Jorge Terán Benalcázar², Cosme Mejía Echeverría²

¹ Instituto Superior Tecnológico 17 de Julio, Polígono Yachay Vía Hacienda San José s/n, Urcuquí, Ecuador, 100115.

² Universidad Técnica del Norte, Av. 17 de Julio 5-21 y Gral. José María Córdova, Ibarra, Ecuador, 100105.

Autores para correspondencia: fortega@istyachay.edu.ec, {acumaquina, oronia, jrteran, cdmejia}@utn.edu.ec

Fecha de recepción: 4 de junio 2017 - Fecha de aceptación: 20 de agosto 2017

RESUMEN

Este trabajo pretende satisfacer la necesidad de potenciar la maquinaria de fabricación artesanal del Ecuador, de manera que se cumplan los estándares de producción requeridos por las empresas, en el caso concreto de una máquina madejadora mecánica fabricada en Ecuador por la empresa Imbatex. Los objetivos de esta investigación son: definir el estado de la máquina en función del error de peso y la rotura del hilo y reducir el error máximo en la madeja (como máximo 5%) así como las roturas del hilo (menos de 0.1 por proceso). En particular, se utilizó un PLC, un convertidor de frecuencia trifásico y una pantalla táctil HMI conectada mediante el protocolo Modbus RS485 y Delta Q Link. Además de la medición indirecta se utilizó un sensor decodificador. Un sistema de control del peso de la madeja y un sistema de prevención de la rotura del hilo, fueron implementados por medio de pruebas de velocidad para diferentes tipos de hilos (predeterminados por la compañía). La automatización propuesta alcanza un desempeño exitoso en la reducción del error promedio en el peso de la madeja de 17.47% a 0.8%, y la reducción del número de rotura de hilo por proceso de 4.17 a 0.05.

Palabras clave: Automatización Industrial, HMI, Modbus, máquina madejadora, PLC.

ABSTRACT

The research presented in this paper intends the potentializing of Ecuadorian manufactured handicraft machinery, so that the production standards required by the companies are complied, in the specific case of a reeling machine made by the Imbatex Company, which produces yarn skein. The objectives of the investigation are: To define the machine state in function of weight error and yarn breakage and reduce the maximal error in the skein (at most 5%) as well as the yarn breaks (less than 0.1 per process). Particularly, a PLC, a three-phase frequency inverter and a HMI touch screen connected by modbus RS485 and Delta Q Link protocol were used. As well, indirect measurement is used along with an encoder sensor. A skein weight control system and a yarn breakage prevention system by means of velocity tests for different yarn types (predetermined by the company) are implemented. The proposed automation reaches a successful performance on reducing the average error in weight skein from 17.47% to 0.8%, and reducing the number of yarn breaks per process from 4.17 to 0.05.

Keywords: Industrial automation, HMI, Modbus, PLC, reeling machine.

1. INTRODUCCIÓN

El sector manufacturero del Ecuador creció de 5304 a 7448 empresas, entre los años 2009 al 2013 (Garzón, Kulfas, Palacios & Tamayo, 2016). El sector textil ocupa el 4% de las empresas manufactureras (Garzón *et al.*, 2016) y la “participación de los textiles, prendas de vestir y prendas de cuero en las exportaciones del Ecuador para el período 2000 al 2010 fue de 1.3%” (Peña & Pinta, 2012), la importante participación de este sector en la economía del país requieren, para las empresas, un continuo mejoramiento en la calidad de los procesos, entre ellos, los de automatización de sus maquinarias por el impacto positivo en la calidad del producto y en la reducción de los tiempos de producción terminada (Velásquez, 2011). Actualmente las empresas de la pequeña y mediana industria del país generalmente trabajan con una gran variedad de máquinas no automáticas de construcción artesanal local, las cuales no proporcionan las condiciones requeridas para garantizar una producción de calidad.

El proceso de fabricación del hilo cuenta de una serie de etapas: la preparación de la materia prima, cardado, estirado y doblado, estirado y falso torcido, hilado, bobinado, retorcido, madejado, tintura, para finalizar con la etapa de secado. La máquina utilizada en este proceso se denomina madejadora, en la cual se comienza con hilos en bobinas salientes en forma de conos de las bobinadoras o retorcedoras, éstos son colocados en la fileta de alimentación y mediante guías y tensores son dirigidos hasta las aspas o biombo, los que giran y envuelven al hilo alrededor de su periferia, mientras los hilos están siendo enrollados un movimiento de vaivén previo al enrollamiento permite dirigir al hilo en un segmento de espacio con lo que se logra producir las madejas cruzadas, con la finalidad de permitir al hilo ser tinturado posteriormente (Benalcázar Vaca, 2011), las madejas más utilizadas son de 1 a 2 Kg, debiendo tener un peso estándar para la comercialización.

La empresa textil IMBATEX ubicada en el cantón Ibarra, en la provincia Imbabura - Ecuador, se dedica a la fabricación de hilos en general, normales y de fantasía, con fibras de lana, alpaca, bambú, acrílico, poliéster, algodón, entre otros, cuenta con una máquina madejadora mecánica de fabricación nacional, la cual inicialmente procesaba madejas sin control de peso para los tipos de hilos: lana 1.5, lana 1.8 y alpaca 1.45. A pesar de que la empresa produce cuatro tipos adicionales de hilos, éstos no se pueden madejar en la máquina por su alta tasa de ruptura y el madejado se lo realizaba manualmente sin utilizar la máquina madejadora. La empresa al no cumplir con estándares de peso en las madejas, solo vendía a granel, mas no a las tiendas minoristas.

La investigación pretende implementar un sistema automatizado que permita un madejado estándar en peso, flexible en tipo y grosor de hilo, estandarizando el error del peso de la madeja en menos del 5% y reducir la ruptura de hilos en menos de 0.1 rupturas por proceso, dichos parámetros fueron establecidos por la empresa. Dado que no se logró obtener respuesta de las empresas que fabrican máquinas madejadoras acerca de los parámetros de operación en los que se enfoca esta investigación, los resultados serán cotejados con los requerimientos de la empresa.

El presente documento se encuentra organizado de la siguiente manera. En la sección 2, se describe la evaluación inicial de la máquina, el diseño y construcción del hardware y software del sistema; En la sección 3 se establece los resultados y discusión del proyecto. Por último, en la sección 4 se establecen conclusiones y los trabajos futuros.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación aplicada, se realizó sobre la máquina madejadora mecánica de fabricación artesanal de la empresa Imbatex de la ciudad de Ibarra, provincia de Imbabura, en Ecuador. La máquina fue adquirida en el año 2010 de segunda mano, y tiene capacidad de elaborar 30 madejas por proceso.

Se utilizó un motor trifásico de 1 HP¹, 220VAC² a 1700 rpm³ como elemento de salida principal, un elemento de salida permiten que el PLC actúe sobre el proceso (Torres & Jara, 1990) y así poder mover las partes móviles de la máquina, mientras que el sistema de control de peso se realizó mediante el acople mecánico al sistema de transmisión de movimiento del motor al biombo, de un encoder incremental de 10 ppr⁴ marca Yumo, que es un dispositivo de conversión mecánica a eléctrica, el eje del encoder gira y da una señal de salida proporcional al ángulo de giro del eje al que está acoplado (Zhang, 2010), la señal de salida depende de la resolución del encoder, ya que por cada pulso avanza un ángulo específico (Sandin, 2003) el cual mide las vueltas que da el biombo de la máquina y, mediante relación del título⁵ del hilo con el mecanismo de transmisión, se obtiene el peso en tiempo real. La transmisión de la máquina se encuentra constituida de poleas y engranajes que hacen mover el biombo, el cual bobina el hilo, y a su vez la barra de vaivén que hace mover el hilo de manera oscilatoria para que no se acumule el bobinado en un solo punto de la madeja.

Para evitar la ruptura de los diferentes tipos de hilos se utiliza un variador de frecuencia trifásico, el cual varía la velocidad del motor y del bobinado dependiendo del tipo de hilo, restringiendo la tensión sobre éste.

Tanto en las pruebas de evaluación de la máquina y luego de la automatización del sistema, se realizaron 20 muestras en un lapso de un mes, en cada una se fabricó 30 madejas, dando un total de 600 madejas evaluadas, dado que para un nivel de confianza de 99%, con un éxito esperado del 99% y con un error máximo admisible del 1%. Las 600 muestras evaluadas superan el número de muestras mínimo (536), por lo que se garantiza estadísticamente la fiabilidad de los resultados.

2.1. Evaluación inicial de la máquina

La eficacia de la máquina se midió en función del número de rupturas de hilo durante el proceso de madejado, con los diferentes hilos producidos por la empresa. La precisión se midió en función del peso de la madeja final, en relación con el estándar de la empresa. En las Tablas 1 y 2 se detallan los resultados de la evaluación inicial considerando la eficacia y precisión de la máquina:

Tabla 1. Evaluación inicial de la eficacia de la máquina.

Evaluación de eficacia	
Tipo de Hilo/Lana	Número de rupturas promedio por muestra (30 madejas)
Lana 1.5	4.6
Lana 1.8	2.9
Alpaca 1.45	5.0
PROMEDIO	4.17 (13.9%)

Tabla 2. Evaluación inicial de la precisión de la máquina.

Evaluación de precisión	
Tipo de Hilo/Lana	Error (%)
Lana 1.5	16.60%
Lana 1.8	17.80%
Alpaca 1.45	18.00%
PROMEDIO	17.47%

Para el tipo de lana 1.5 el hilo se rompe en promedio 4.6 veces durante cada muestra, en la cual se hace 30 madejas al mismo tiempo, el tipo de la lana 1.8 y la alpaca 1.45 se rompen 2.9 y 5 veces por

¹ HP: Horse Power, unidad de medida de potencia

² VAC: Voltaje en Corriente Alterna [Traducción de: Voltage in alternating current]

³ rpm: revoluciones por minuto

⁴ ppr: pulsos por revolución

⁵ Relación entre la longitud y el peso de un hilo

muestra respectivamente. En cada ruptura, el operario debe parar el proceso para amarrar el hilo y volver al proceso, la alta tasa de rupturas requiere que durante el proceso de madejado un operario vigile la máquina y corrija los fallos de haberlos.

El estándar aceptado de error en el peso de la madeja entre los productores es de máximo 5%, los errores de peso de la máquina previo a la automatización están encima del 16%, por tal motivo la empresa no puede vender madejas a tiendas minoristas.

2.2. Arquitectura del sistema

El sistema tiene como centro el PLC Delta modular de gama media DVP-32ES2, que es una forma especial de controlador basado en microprocesador que utiliza una memoria programable para almacenar instrucciones y para implementar funciones como lógica, secuencia, temporizaciones, contadores y la aritmética con el fin de controlar las máquina y el proceso (Bolton, 2001).

Todos los dispositivos de control existentes en la planta pueden ser monitorizados al existir una red de comunicaciones que enlaza estos controles con otros dispositivos dedicados a la gestión y supervisión y que, generalmente, están constituidos por computadores o sistemas de visualización tales como pantallas industriales e interfaces humano máquina (*HMI* - por sus siglas en inglés *Human-Machine Interface*) (Gutiérrez, 2010). De esta manera, se utiliza una pantalla HMI Delta DOP-B5S100, con comunicación mediante el protocolo Delta DVP Q Link, el cual tiene como capa física el RS232. De igual modo, para poder controlar la tensión en el hilo durante el bobinado se utiliza un variador de frecuencia Delta DVP-M, el PLC se comunica con el mismo mediante MODBUS ASCII, bajo la capa física RS485, la arquitectura del sistema se muestra en la Figura 1.

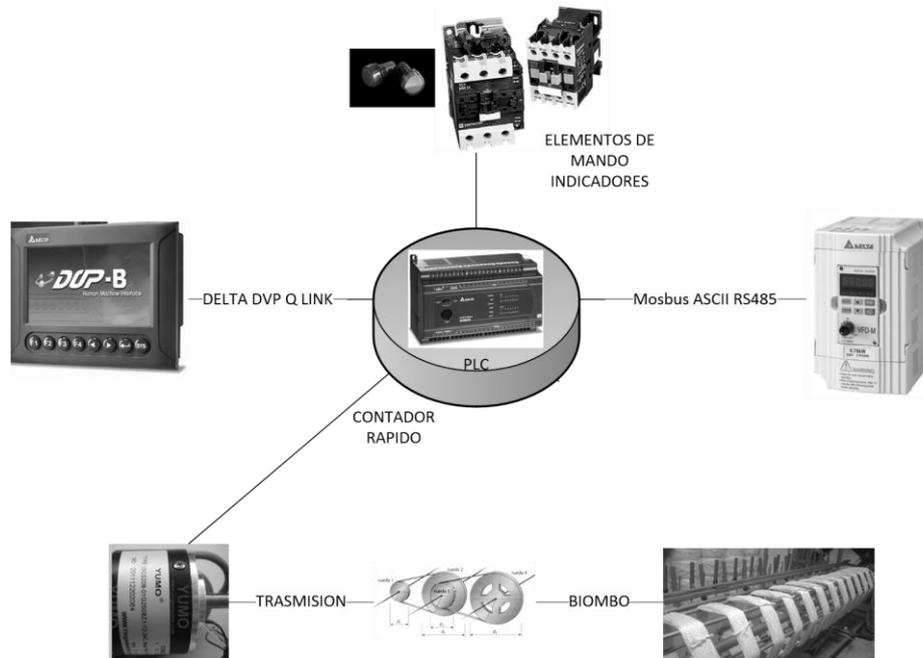


Figura 1. Arquitectura del Sistema (Loza Ortega, 2014).

2.3. Diseño del sistema

Sabiendo que el biombo enrolla la longitud de su perímetro de hilo por cada revolución del mismo, y por su transmisión mecánica, se establece que al girar el biombo 360°, el encoder registra 19,506 pulsos proporcionales al perímetro del biombo, que es la longitud del hilo enrollado.

Las medidas del peso se obtienen indirectamente de la lectura del número de pulsos del encoder (NP), mediante la ecuación (Loza Ortega, 2014):

$$NP = \frac{19,506 * \text{Peso} * \text{Título}}{\text{Perímetro Biombo}}$$

Las relaciones matemáticas del encoder con el peso, las configuraciones de comunicaciones con el HMI y con el variador, para obtener el control de tensión o velocidad de biombo, y la configuración de parámetros iniciales del operario, se las hace mediante programación del PLC en el software Delta WPLSoft 2.0 lenguaje Ladder. Al utilizar el lenguaje Ladder se permite que las prestaciones de una tecnología obsoleta sigan siendo viables con las nuevas (Ridley, 2004), el código se divide en dos partes, la primera durante el primer ciclo de escaneo del PLC, que se hace una sola vez durante la ejecución del programa, y la segunda que se ejecuta a partir del segundo ciclo de escaneo en forma de ciclo infinito, el flujograma se detalla en la Figura 2. Un ciclo de escaneo en un PLC se ejecuta muchas veces por segundo. Los tiempos típicos de ejecución oscilan entre 5 y 100 ms (Bishop, 2008).

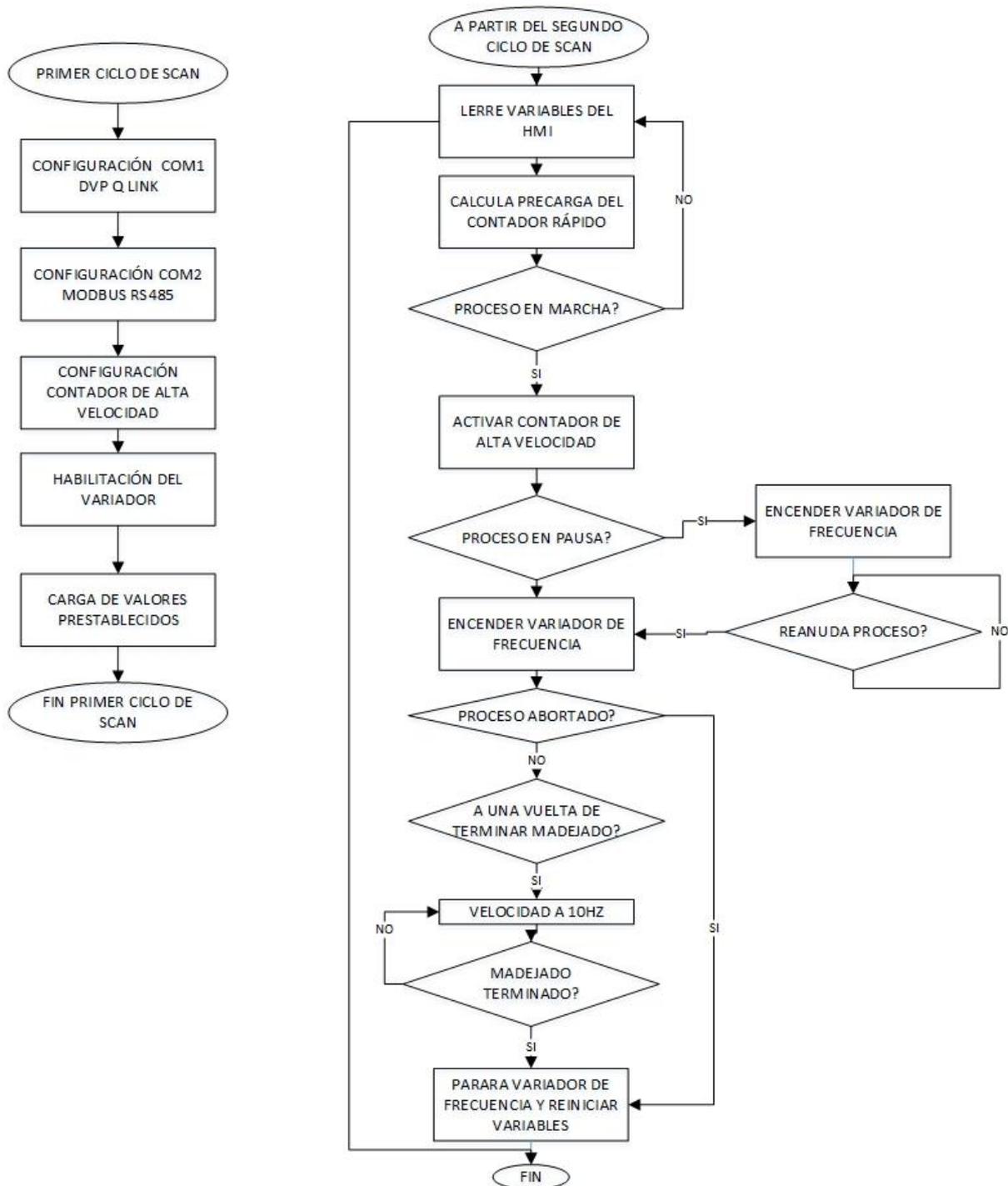


Figura 2. Flujogramas del programa de PLC (Loza Ortega, 2014).

Para la programación del HMI, se utiliza el programa DOP-B Screen Editor 2.00.23, el cual ofrece programación gráfica, mediante vínculos sencillos y subprogramas en basic15, llamados macros, el flujograma se muestra en la Figura 3.

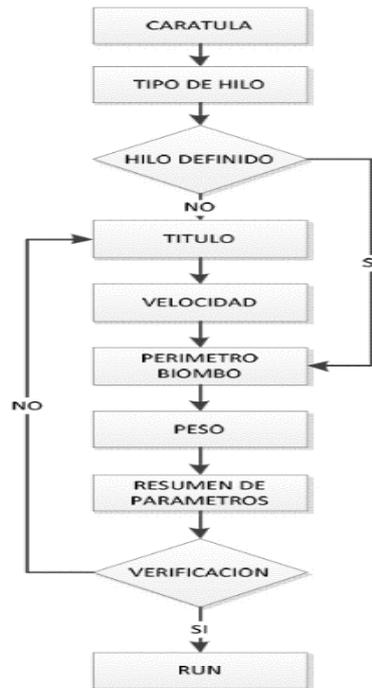


Figura 3. Flujograma del programa de la HMI (Loza Ortega, 2014).

Como resultado y medio de interacción con el operario de la integración de los programas y componentes, se obtuvieron 12 pantallas de navegación, entre las principales se encuentran: la pantalla de selección del tipo de hilo a madejar, en la cual se incluyeron los siete tipos de hilos predefinidos, que son los que generalmente produce la empresa y un tipo extra de hilo, en el cual se puede configurar sus características, para que pueda ser madejado por la máquina (ver Figura 4).



Figura 4. Pantalla de selección de hilo (Loza Ortega, 2014).



Figura 5. Pantalla de producción (Loza Ortega, 2014).

En la pantalla de operación se puede observar en tiempo real, la variable peso promedio de todas las madejas, finalización del proceso. Además, se puede pausar, reiniciar o abortar la producción (ver Figura 5).

En la pantalla de configuración para hilos que no se producen comúnmente en la empresa, el operario deberá ingresar el título del hilo, la velocidad de madejado, el peso de madeja deseado, el

diámetro del biombo es constante, ya que mecánicamente tiene un tornillo que lo ajusta en la misma posición todas las veces, sin embargo, si hubiese un cambio en la configuración mecánica de la máquina, en esta pantalla se puede cambiar el diámetro del biombo (ver Figura 6).

El título del hilo o número métrico se obtiene midiendo 10 metros de hilo y pesándolo, así el número métrico o título será la relación o división entre la longitud en metros y el peso en gramos (Benalcázar Vaca, 2011) como se muestra en la siguiente ecuación (Loza Ortega, 2014):

$$\text{Título} = \frac{\text{Longitud}(m)}{\text{Peso}(gr)}$$



Figura 6. Configuración de un hilo no predeterminado (Loza Ortega, 2014).

2.4. Construcción

Para la depuración del programa del PLC fue necesario conectar la red MODBUS ASCII con la PC, para ello se construyó una tarjeta de adaptación de RS232 a RS485, el circuito de esta tarjeta permite mediante un juego de compuertas lógicas tener una comunicación *half dúplex* (ver Figura 7).

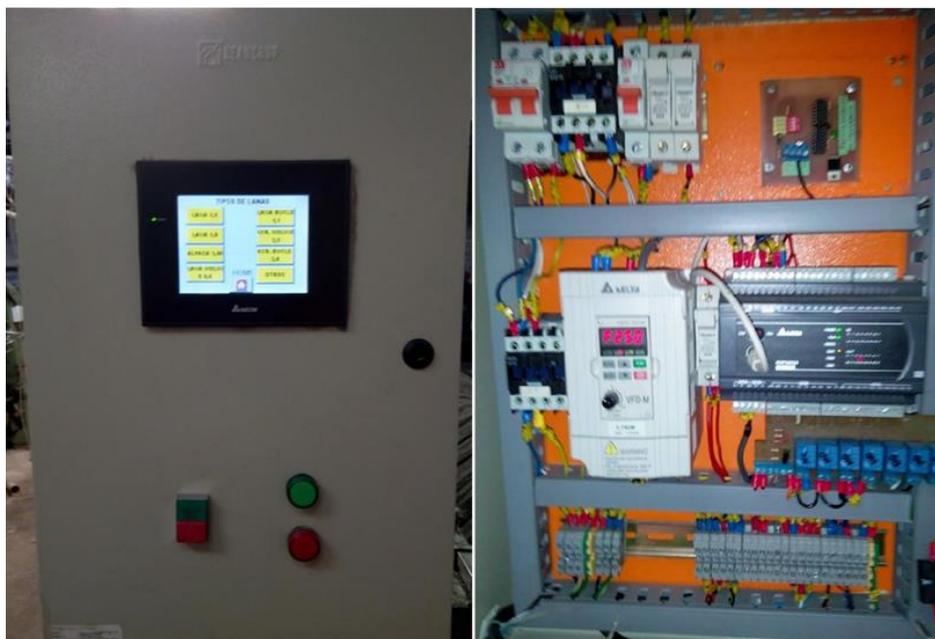
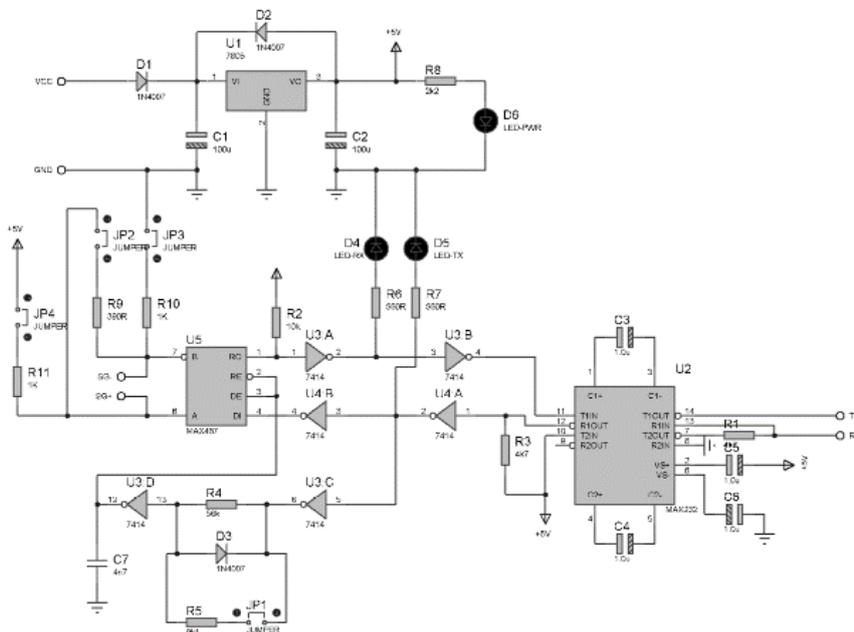


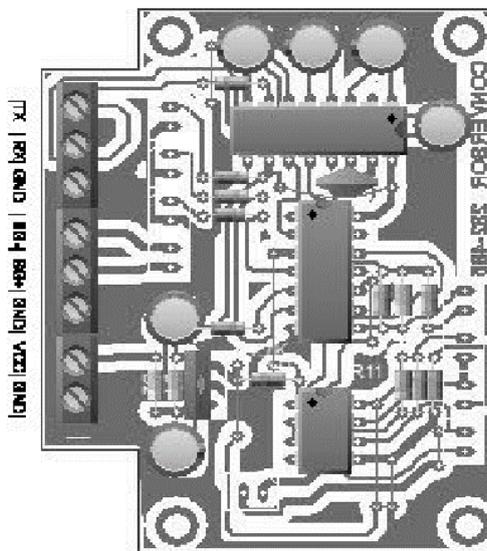
Figura 7. Tablero de Control instalado (Loza Ortega, 2014).

Para el acople mecánico entre el encoder y la transmisión de la máquina se implementó un acople flexible el cual elimina fuerzas de torsión por mal alineación entre ejes, prolongando así la vida útil del encoder.

En el tablero de control, además del PLC y variador de frecuencia, se incluyó tarjeta convertidor de voltaje, protecciones eléctricas como disyuntor, magnetotérmico de fuerza y de control, *switch* de encendido, luces indicadoras, así como una tarjeta de relés para conectar el PLC que opera a 24VDC con las luces piloto y contactores que operan a 110VAC (ver Figura 7). En la Figura 8, se presenta la representación esquemática y el circuito impreso construido para la tarjeta de adaptación.



a. Representación esquemática (Loza Ortega, 2014)



3. RESULTADOS Y DISCUSION

Luego de instalada la automatización, para cuantificar la eficacia y precisión de la máquina, se volvieron a hacer las pruebas realizadas previamente en la evaluación.

De igual forma que en la evaluación inicial, la muestras fueron tomadas en un lapso de un mes, se madejaron 20 muestras, cada muestra constó de 30 madejas que fueron pesadas, sacando un promedio de error del peso real en función del peso deseado, para todos los tipos de hilos producidos actualmente en la empresa. A continuación, en las Tablas 3 y 4, se detallan resultados finales obtenidos:

Tabla 3. Evaluación final, resultados de la eficacia de la máquina.

Evaluación de eficacia	
Tipo de Hilo/Lana	Número de rupturas promedio por muestra (30 madejas)
Lana 1.5	0.0
Lana 1.8	0.0
Alpaca 1.45	0.0
Lana Moliné 0.6	0.3
Lana Buclé 1.1	0.0
Acrílico Moliné	0.0
Acrílico Buclé 3.8	0.0
PROMEDIO	0.05(0.016%)

Tabla 4. Evaluación final, resultados de la precisión de la máquina.

Evaluación de precisión	
Tipo de Hilo/Lana	Error (%)
Lana 1.5	0.7%
Lana 1.8	0.7%
Alpaca 1.45	0.8%
Lana Moliné 0.6	0.7%
Lana Buclé 1.1	0.8%
Acrílico Moliné	0.9%
Acrílico Buclé 3.8	1.0%
PROMEDIO	0.8%

Mediante las pruebas de error de peso, se determinó que el error de peso fue de 0.8%. De la misma forma, el promedio de ruptura fue de 0.016%, equivalente a 0.05 rupturas por proceso, tomando en cuenta que en un proceso se realizan 30 madejas.

Contrastando los resultados de la evaluación inicial de la máquina con los resultados post automatización, la eficacia de la máquina en relación al número de rupturas por proceso bajó de 4.17 rupturas promedio por proceso a 0.05 rupturas por proceso. Convirtiendo estos datos a porcentajes, la evaluación la máquina pasó de un 13.9% de madejas que sufrían ruptura, a un valor, con la automatización, de 0.016%; Esto significó una reducción considerable que ubica a la eficiencia de la máquina por debajo del valor solicitado por la empresa, que fue de 0.1 rupturas por proceso.

Con respecto al peso de las madejas, que en la evaluación inicial de la máquina fue del 17.47% de error promedio en peso de madeja, con la automatización se logró reducir el error a un 0.8%, por debajo del estándar de peso requerido por la empresa, que fue del 5% máximo en el error de peso.

Con respecto a la flexibilidad, la empresa utilizaba la máquina para madejar 3 tipos de hilos o lanas, luego de la automatización se puede madejar 7 tipos de hilos, que son toda la gama de hilos que produce la empresa y con opción de ingresar al sistema mediante la pantalla táctil, nuevos tipos de hilos que se estén madejando.

En las conclusiones de la tesis “*Diseño e Implementación de un sistema de control para el proceso de tinturado de hilos en la planta textil Imbatex*” se dice que la automatización realizada disminuyó las pérdidas en la producción, mejoró la calidad en los acabados e incrementó el volumen de producción (Castro & Jácome, 2012). Esta afirmación define un punto importante acerca de las pérdidas que puede tener una empresa al tener procesos poco eficientes, las pérdidas se interpretan, en su último eslabón, en económicas, lo cual limita el crecimiento de la micro y mediana industria que tiene recursos limitados.

La adquisición de una máquina implica, además del valor de la máquina, los costos de importación, envío e impuestos de nacionalización. La reconversión tecnológica resulta una solución alternativa para adquisición de maquinaria moderna (García *et al.*, 2008), en este punto surge la necesidad de que los procesos de automatización de este tipo de empresas surgan del talento humano del Ecuador para fortalecer la maquinaria y la producción de una manera barata y utilizando los recursos ya existentes.

Dentro de la seguridad laboral se puede decir que la automatización reduce ampliamente la necesidad sensorial y mental del humano (Pérez López, 2015), esto provoca una mejor calidad del trabajo humano, al eliminar procesos repetitivos y agotadores tanto mentalmente como físicamente, de esta forma la automatización no solo mejora la eficiencia de las máquinas sino indirectamente del talento humano en la industria.

4. CONCLUSIONES

El uso de la automatización para repotenciar maquinaria artesanal es una opción viable para el mejoramiento de los procesos industriales, especialmente en pequeñas y medianas empresas. Además de alivianar la carga al trabajador y mejorar su productividad, específicamente en el caso de la máquina madejadora de hilos de construcción nacional artesanal de la empresa Imbatex, se logró aumentar la cantidad de hilos a trabajar en la máquina (de 3 a 7) y mejorar la eficacia y precisión de la máquina dentro de las necesidades de la empresa. Cabe anotar que, previo a la automatización, se necesitó de un operario durante todo el proceso, mientras que con la automatización se requiere del operario solamente al iniciar y al finalizar el proceso de madejado, liberándolo para otras actividades.

La utilización de redes industriales para comunicar los dispositivos en un sistema de automatización podría reducir en muchos casos los costes en la adquisición de equipos, ya que se evita comprar módulos adicionales para que el PLC pueda enviar señales de control a cada uno de los dispositivos microprocesados como variadores de velocidad, HMI, computadores, etc., esto debido a que en la actualidad la mayoría de PLC vienen con puertos de comunicación integrados.

En el futuro se pretende difundir la presente investigación a otras empresas que tengan maquinaria similar y evaluar otros tipos de maquinarias artesanales de construcción nacional para su repotencialización mediante la automatización, partiendo desde la empresa Imbatex a corto plazo y abarcando a mediano plazo la industria textil local, para a largo plazo expandir la repotencialización de maquinaria artesanal a la industria ecuatoriana en general.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece a la Universidad Técnica del Norte y a la empresa Imbatex por las facilidades brindadas durante la realización del proyecto, un especial reconocimiento a la planta docente de la Carrera de Mecatrónica.

REFERENCIAS

- Benalcázar Vaca, D. J. (2011). *Manual Teórico práctico de hilatura acrílica*. Universidad Técnica del Norte, Ibarra, Ecuador. Recuperado a partir de <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/735>
- Bishop, R. (2008). *Mechatronic system control, logic, and data acquisition* (2a ed.). Texas, USA: Series Editor.
- Bolton, W. (2001). *Mecatrónica: sistemas de control electrónico en la ingeniería mecánica y eléctrica* (2da ed.). Alfaomega.
- Castro, M., & Jácome, S. (2012). *Diseño e Implementación de un sistema de control para el proceso de tinturado de hilos en la planta textil Imbatex*. Escuela Politécnica Nacional, Ibarra. Recuperado a partir de <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/4636/1/CD-4268.pdf>
- García, A. C., Rodríguez, J. L. M., & Castro, E. Y. T. (2008). Automatización de procesos en el sector plásticos: el caso de una inyectora. *Visión Electrónica: algo más que un estado sólido*, 2(2), 52-63.
- Garzón, N., Kulfas, M., Palacios, J. C., & Tamayo, D. (2016). *Evolución del sector manufacturero ecuatoriano 2010-2013*. Quito, Ecuador: INEC. Disponible en <http://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Bibliotecas/Libros/SECTOR%20MANUFACTURERO.pdf>
- Gutiérrez, H. (2010). *Automatización Industrial: Teoría y Laboratorio* (1ª ed.). Bogotá, Colombia: Universidad Distrital Francisco José de Caldas.
- Loza Ortega, W. F. (2014). *Automatización de una máquina madejadora de hilos de construcción nacional para la empresa Imbatex*. Ibarra, Ecuador: Universidad Técnica del Norte. Disponible en <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/3515>
- Peña, A., & Pinta, F. (2012). *Infoeconomía*. Quito, Ecuador: INEC. Disponible en <http://www.ecuadorencifras.gob.ec/wp-content/descargas/Infoeconomia/info6.pdf>
- Pérez López, E. (2015). Proposed warehouse automation in the finished product in manufacturing products personal hygiene in Costa Rica. *InterSedes*, 16(34), 40-60.
- Ridley, J. (2004). *Mitsubishi FX programmable logic controllers: applications and programming* (2ª ed.). Amsterdam, the Netherlands: Newnes
- Sandin, P. (2003). *Robot mechanisms and mechanical devices illustrated*. McGraw Hill Professional. Recuperado a partir de <http://resimliyemektariflerim.com/wp-content/uploads/robotik/Mcgraw-Hill%20-%20Robot%20Mechanisms%20And%20Mechanical%20Devices%20Illust.pdf>
- Torres, F., & Jara, C. (1990). *Tema 6. Autómatas programables I*. Recuperado a partir de <https://core.ac.uk/download/pdf/16370593.pdf>
- Velásquez, J. A. (2011). *El impacto de la automatización en la calidad del producto*. Presentado en XVI Congreso Internacional de Ingeniería y Arquiforo, Lima, Perú. Recuperado a partir de <http://www.usmp.edu.pe/vision2011/exposiciones/12.ElImpacto.pdf>
- Zhang, P. (2010). *Advanced industrial control technology* (1ª ed.). Amsterdam Boston Heidelberg: William Andrew, an imprint of Elsevier.