



Sistema semiautomático de control para procesos de corrugado en fabricación de cartón

A Semi-Automatic Control System Applied to the Corrugated-Cardboard Manufacturing Process

Alfredo Chacón G.*

Alberto Ramos L.**

Alexander Ruiz M.***

Fecha de envío: noviembre del 2010

Fecha de recepción: noviembre del 2010

Fecha de aceptación: febrero del 2012

Resumen

El presente artículo presenta el desarrollo de un control semiautomático en una máquina corrugadora de papel. Este proyecto de desarrollo tecnológico se enfoca en optimizar y controlar tres procesos en la producción del cartón: montaje y alineación de rollos, control de arropo para la temperatura del papel y control de presión “Short-Press” en el proceso de unión y secado del cartón. Adicionalmente se acondiciona una interfaz gráfica para permitirle al operario el cambio de parámetros de funcionamiento, utilizando la estructura mecánica de la máquina corrugadora existente, así como algunos sensores e implementando y programando un control automático PLC, se logran procesos más precisos, que cumplen con estándares de fabricación, que además de mejorar la calidad del producto y aumentar la productividad protegen la máquina reduciendo tiempos muertos por paros de mantenimiento y reparaciones.

Palabras clave:

Sistema semiautomático de control, Corrugadora, PLC, ShortPress

Abstract

This project consists of a semi-automation of a paper corrugating machine, the project focuses on optimizing and controlling three key processes in the production of carton: assembly and alignment rolls, grape syrup to con-

trol the temperature of the paper and pressure control “ShortPress” in the process of gathering and drying of cardboard, in addition there shall be a graphical interface to allow the operator to change operating parameters, using the mechanical structure of the existing corrugator machine and some sensors and implementing and programming a PLC automatic control is achieved more accurate processes that meet manufacturing standards

* Ingeniero Electrónico de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Especialista en Instrumentación Electrónica de la Universidad Santo Tomás, Msc. (c) en Ingeniería Electrónica de la Universidad Javeriana, integrante del grupo de investigación Integra, de la Universidad Distrital. Correo electrónico: alfredochacon@yahoo.com.

** Tecnólogo Electrónico, lugar de trabajo Linalca S.A. Correo electrónico: alverri@gmail.com.

***Tecnólogo Electrónico, lugar de trabajo Instituto Tecnológico Los Andes. Correo electrónico: alex.ruiz27@gmail.com.

are, in addition to improving product quality and increase productivity by reducing time protect the machine stops dead for maintenance and repairs.

Key words:

Semi-Automatic Control System Corrugator, PLC, ShortPress.

1. Introducción

La automatización de procesos, en la actualidad, permite realizar una labor más precisa en menor tiempo, sin requerir supervisión continua, pero demanda una inversión económica grande. En países en vía de desarrollo, el adquirir este tipo de tecnología es bastante costoso; es por esto que la alternativa es automatizar maquinaria que funciona en la actualidad, pero manejada de manera manual. Es en este punto que la semiautomatización juega un papel importante, porque es posible automatizar sin necesidad de desechar máquinas en buen estado mecánico y eléctrico. El caso de estudio es automatizar algunos procesos vitales de una máquina corrugadora de papel para la fabricación del cartón. Estos procesos son: montaje y alineación de rollos, control de arroje para la temperatura del papel y control de presión ShortPress en el proceso de unión y secado del cartón; además se acondiciona una interfaz gráfica para permitir al operario el cambio de parámetros de funcionamiento.

Por otro lado, el desarrollo de esta publicación se divide en tres partes para permitir su comprensión. La primera describe las condiciones previas a la implementación del sistema y examina el funcionamiento y los problemas existentes para determinar los requerimientos del sistema; la segunda muestra la alternativa de solución, la selección de materiales, programación y montaje

del sistema; finalmente, se muestran y comparan los resultados del desempeño de estos dispositivos y procesos.

1.1. Condiciones previas de operación

1.1.1. El montarollos

El proceso de alimentación y alineación del montarollos (carga y descarga de bobinas) para el corrugador es un proceso 100 % manual. El operario realiza el movimiento de la máquina mediante pulsadores mecánicos: sube los brazos, empuja la bobina de papel hasta el punto de sujeción, abre los brazos, los baja y luego los cierra para sujetar la bobina de papel; después los brazos suben junto con la bobina y se desplazan de forma horizontal para incorporarse a la línea de producción. Un problema recurrente y crítico que ocurre en el movimiento de apertura de los brazos del montarollos suele suceder cuando el operario deja el pulsador oprimido demasiado tiempo y los brazos colisionan con los límites mecánicos de la máquina, hecho que daña el sistema de engranaje o rodamientos. Lo anterior quiere decir que la falta de control en el movimiento de los brazos, ocasiona daños mecánicos y, en consecuencia, paradas del corrugador y tiempos perdidos. La desalineación del papel externo con relación papel interno y al corrugado, por otra parte, produce bordes sobrantes o desiguales.

1.1.2. El control de arroje

Tiene la finalidad de dar al papel la temperatura adecuada para el buen pegue con el *single-face*¹. El control de arroje de los papeles en el calentador se hace mediante dos pulsadores, uno para arropar y otro para desarropar el rodillo calentador. Posteriormente, el operario tantea la temperatura de los papeles y realiza los ajustes manuales hasta tener

¹ Conjunto de papel liso y corrugado medio, es la primera cara del cartón.

la temperatura que estima apropiada, sin tener un valor exacto y sin tener en cuenta la relación entre la cantidad de arropo, la velocidad, temperatura y características del papel; de esta manera, obtiene papel despegado o tostado.

1.1.3. El Shortpress

Es el control de la presión de aire para dar a la lámina de cartón buena adherencia y secado. Este proceso se hace mediante dos pulsadores, uno para aumentar y otro para disminuir la presión de aire necesario para presionar el *single-face* al corrugado medio. Dichos pulsadores están ubicados uno en cada mesa (hay en total tres mesas). Por otra parte, el operario debe verificar en todo momento la presión por medio de los manómetros de cada mesa y realizar los ajustes necesarios. Este es un factor decisivo para la calidad del producto, tanto así que si no se controla se producirá un alto porcentaje de material perdido, abarquillado o despegado.

2. Alternativa de solución

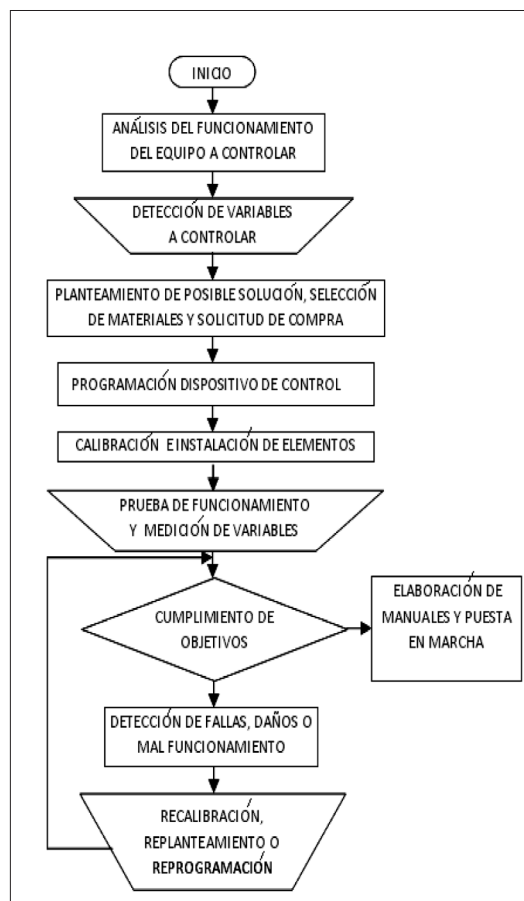
La solución busca lo siguiente:

- Desarrollar un sistema semiautomático de posicionamiento en el montarrollos y controlar la temperatura del papel utilizado en la fabricación del cartón
- Diseñar e implementar un sistema de protección para evitar colisiones de los brazos del montarrollos durante el funcionamiento por medio de sensores y actuadores.
- Planear y programar la secuencia de movimientos en la apertura, cierre, subida y bajada de los brazos mecánicos del montarrollos para sujetar la bobina.
- Monitorear la temperatura del papel a la salida del precalentador y preacondicionador.

- Desarrollar un sistema de control para los rodillos de arropamiento y establecer los niveles de temperatura deseados.

La siguiente figura muestra un diagrama con los pasos realizados en el desarrollo del sistema.

Figura 1. Diagrama esquema de solución



Fuente: elaboración propia.

2.1. Selección de materiales

Se escogió un PLC que incluye un módulo Snap-In y HMI, como elemento de control; se incluyen además sensores de tipo inductivo y óptico para los finales de carrera, alineación y posición de arropo. Por último, se utiliza la

señal de un tacómetro existente, como fuente de información para la lectura de velocidad de la máquina.

2.1.1. Para el arroje del papel

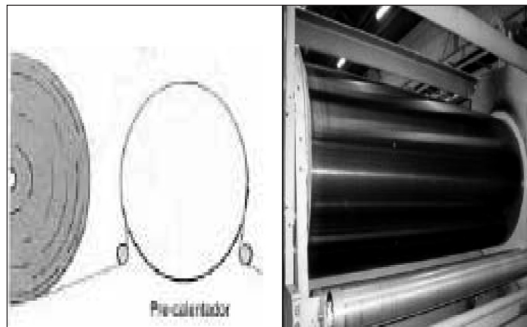
Inicialmente se utilizó un sensor de temperatura Rayomatic 10 [1] para implementar un sistema PID y realizar el control. Al estar durante dos días de prueba, sufrió daños irreparables debido a la temperatura de ambiente de trabajo, la cual fue superior a 120°C. Por razones de costos e instalación de un sistema de refrigeración adecuado para el sensor, se descartó la opción y se propuso realizar el control de arroje

proporcional de velocidad de la línea de producción. Se usaron entonces dos sensores inductivos [2]: uno para el conteo de piñones del rodillo arropador y otro para un sistema de puesta a cero, con el fin de conseguir autocalibración.

2.1.2. Para el montarrollos

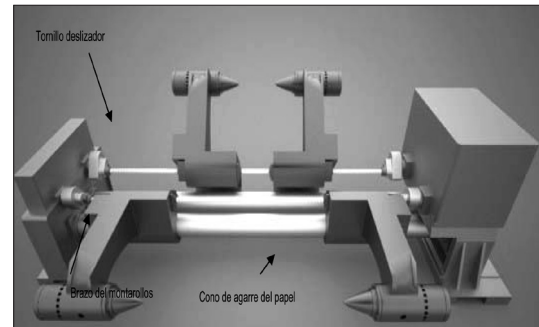
Se usaron seis sensores inductivos Marca Aeco, Ref. 10200129 [2]: dos para los finales de carrera horizontal, dos para finales de carrera vertical y dos para movimiento axial. Para la detección del rollo de papel se usaron dos sensores inductivos ópticos Osiconcept [3]:

Figura 2. Sistema de arroje



Fuente: elaboración propia.

Figura 3. Montarrollos



Fuente: elaboración propia.

Figura 4. Partes del control Shortpress



Fuente: elaboración propia.

Figura 5. PLC Unitronics Vison 280



2.1.3. Para el control Short-Press

Se usaron tres variadores existentes, Micro-master 440 [4], para controlar la frecuencia de operación del ventilador de cada Short-Press, proporcionalmente a la velocidad de la maqui-

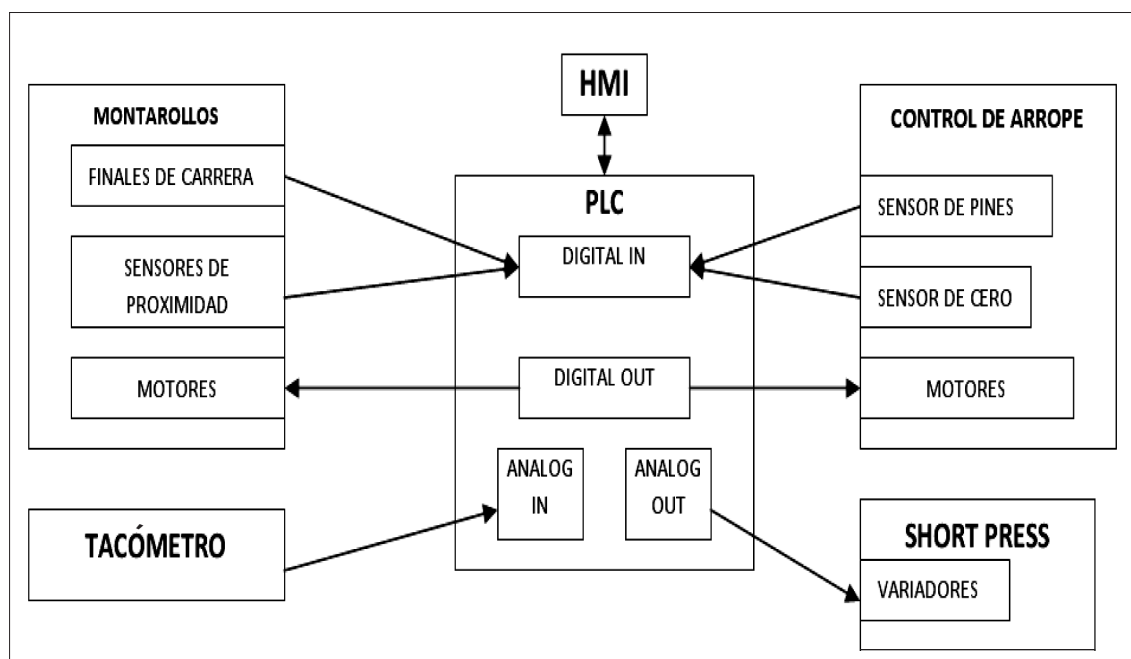
na. Los ventiladores se encargan de suministrar el aire a las bolsas de presión.

2.2. Descripción de la alternativa

El PLC utilizado en el desarrollo del sistema posee las siguientes características [5]:

Marca: Unitronics Vison® 280 18B-20. Esta soporta más de 255 diseños de pantallas, carga hasta 150 imágenes, mide 47” 320x240 píxeles, tiene iluminación, 27 teclas para uso, puertos de comunicaciones RS232, RS 485, GSM/SMS, acceso remoto GPRS, GSM yCDMA, CAN Bus, MODBUS, OPC/DDE server, Voltaje de trabajo 20VDC; así mismo, incluye un módulo snap-in V200 18 E3/4 4XBN [6], que soporta 18 entradas digitales, 2 salidas por transistor de alta velocidad, 17 salidas de relevo, 4 entradas analógicas y 4 salidas analógicas.

Figura 6. Esquema general del PLC



Fuente: elaboración propia.

Tabla 1. Salidas del PLC

Salida	Tipo	Función
1	Dig.	Movimiento axial derecho del carro1 del montarrollos
2	Dig.	Movimiento axial izquierdo del carro1 del montarrollos
3	Dig.	Abre los brazos del carro 1 del montarrollos
4	Dig.	Baja los brazos del carro 1 del montarrollos
5	Dig.	Cierra los brazos del carro 1 del montarrollos
6	Dig.	Sube los brazos del carro 1 del montarrollos
7	Dig.	Aumenta el arropo del papel
8	Dig.	Disminuye el arropo del papel
9	Dig.	Movimiento axial derecho del carro1 del montarrollos
10	Dig.	Movimiento axial izquierdo del carro1 del montarrollos
11	Dig.	Abre los brazos del carro 2 del montarrollos
12	Dig.	Cierra los brazos del carro 2 del montarrollos
13	Dig.	Baja los brazos del carro 2 del montarrollos
14	Dig.	Sube los brazos del carro 2 del montarrollos
15	Ana.	Shortp ress1 0-10v
16	Ana.	Shortp ress2 0-10v
17	Ana.	Shortp ress3 0-10v

Fuente: elaboración propia.

2.3. Configuración del PLC

Las salidas y entradas del PLC se programaron como se muestra en las tablas 1 y 2, respectivamente.

Tabla 2. Entradas del PLC

Salida	Tipo	Función
1	Dig.	Lector piñones arropo
2	Dig.	Lector de cruce por cero
3	Dig.	Límite vertical brazo 1
4	Dig.	Límite izquierdo 1
5	Dig.	Límite derecho 1
6	Dig.	Límite axial 1
7	Dig.	Brazo izquierdo 1
8	Dig.	Brazo derecho 1
9	Dig.	Orden operario
10	Dig.	Límite vertical 2
11	Dig.	Límite izquierdo 2
12	Dig.	Límite derecho 2
13	Dig.	Límite axial 2
14	Dig.	Brazo izquierdo 2
15	Dig.	Brazo derecho 2
16	Dig.	Orden operario 2
17	Dig.	Alineación 1
18	Dig.	Alineación 2
19	Ana.	Señal velocidad 0-10v

Fuente: elaboración propia.

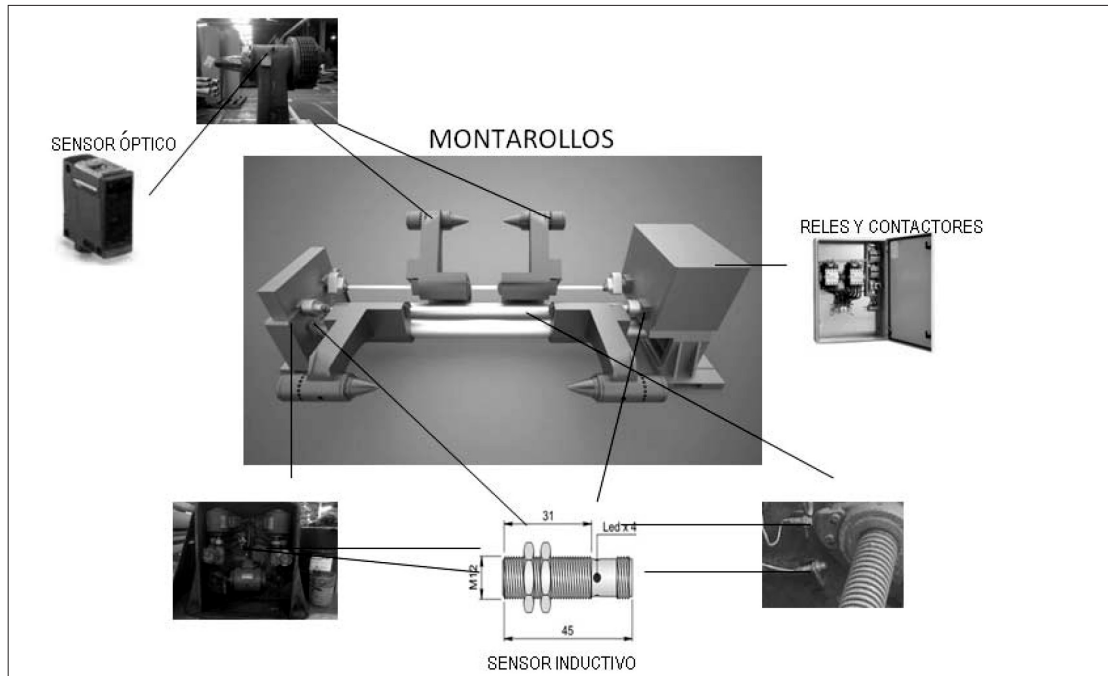
2.4. Montaje

Montarrollos:

Se instalaron dos sensores inductivos en los extremos de la apertura horizontal, para garantizar la interrupción del movimiento cuando llegue al límite indicado por el sensor; de esta forma, se evitan daños mecánicos.

Para los finales de carrera verticales se instalaron dos sensores en el eje de rotación de los

Figura 7. Sensores en el montarrollos



Fuente: elaboración propia.

brazos, dispuestos de forma que se activen en la máxima y mínima posición vertical. En las puntas de cada brazo se instaló un sensor foto reflexivo y configurado para trabajar como sensor de barrera, para indicar hasta dónde debe cerrar los brazos y agarrar la bobina de papel sin maltratarla.

Para la alineación se instaló un sensor inductivo en la carcasa del monta rollos, para indicar el lugar donde deben quedar los brazos con el rollo cargado.

Arrope:

En el arrope del papel, la señal de velocidad se toma de un tacómetro existente en la banda transportadora y un sensor inductivo ubicado en el engranaje del cilindro de arrope, para contar los piñones y saber la posición del

rodillo. También se usa otro sensor inductivo para el *reset* de la posición de arrope, el cual indica la posición cero.

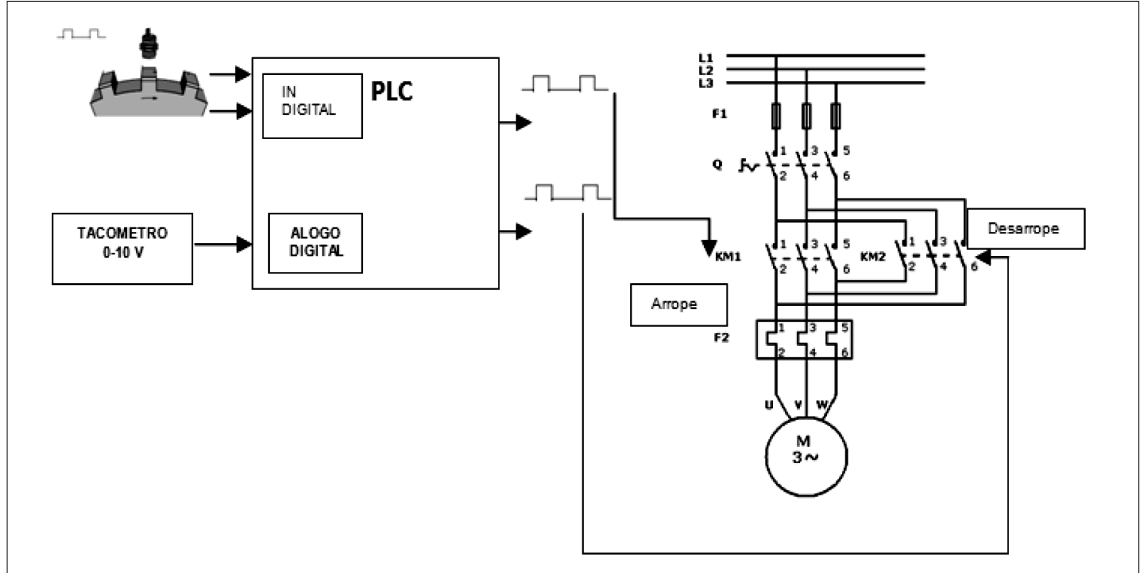
Shortpress:

Para el Shortpress la velocidad de la máquina se toma del mismo tacómetro usado en el arrope. De acuerdo con la velocidad leída se programa la salida proporcional para los tres variadores.

2.5. Programación

La programación del dispositivo se realiza en lenguaje Ladder con el programa VisiLogic OPLC IDE. VisiLogic es el *software* que se usa para crear proyectos de control para los controladores Vision, así como para escribir,

Figura 8. Diagrama del sistema de arripe



Fuente: elaboración propia.

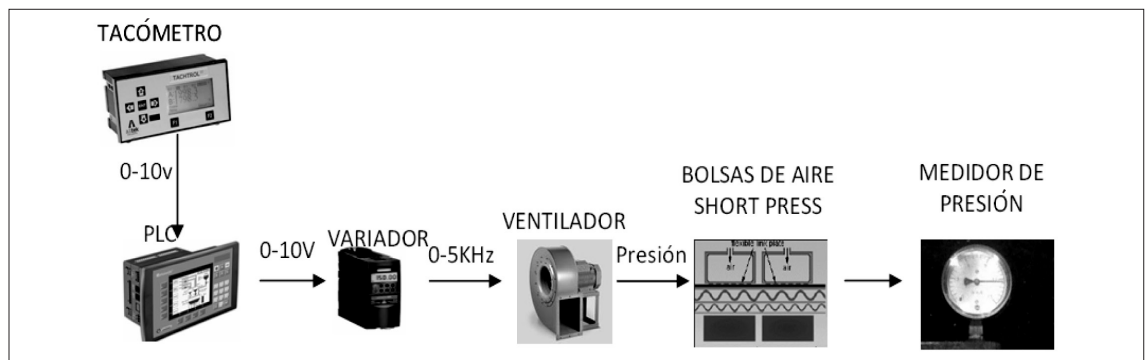
depurar y descargar al PLC y HMI las aplicaciones de control.

Por otra parte, puede usar tres editores para crear su aplicación: Ladder, Displays HMI y Variables. Cada editor se maneja a través de una ventana diferente y puede conmutar en-

tre los editores a través de los botones de la barra de herramientas o haciendo clic en los elementos del árbol del proyecto.

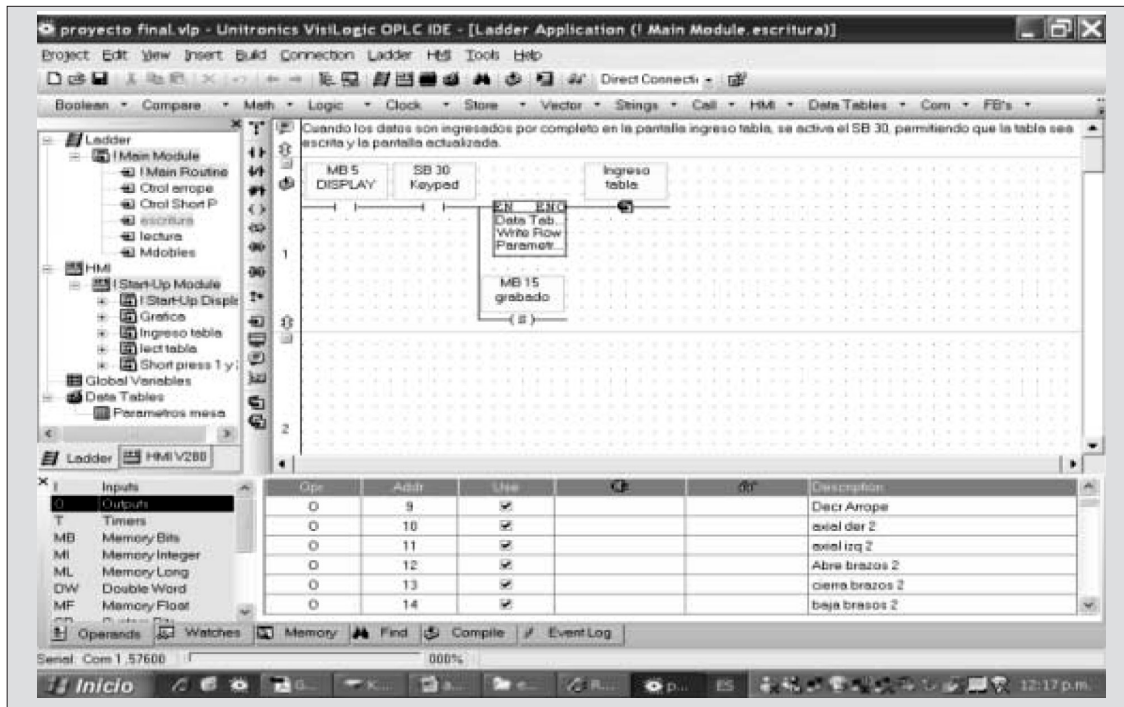
Módulos ladder y subrutinas: es un programa modular que se construye usando módulos y subrutinas.

Figura 9. Shortpress



Fuente: elaboración propia.

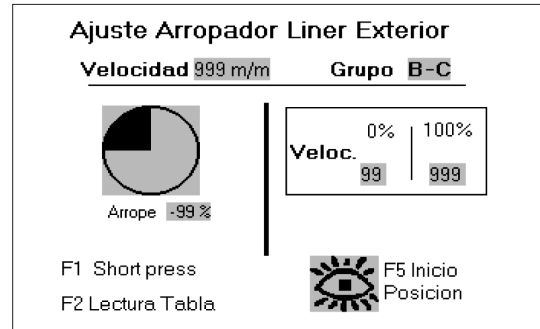
Figura 10. Ambiente de desarrollo VisiLogic



posición de los brazos para llevarlos a su posición inicial y se detiene allí hasta que el operario oprima el pulsador de papel puesto; el PLC envía el pulso de bajada de brazos hasta activar al sensor vertical inferior; y una vez allí el PLC envía la orden de cerrado. Posteriormente, se activa el cerrado de los dos brazos hasta obtener los pulsos de los dos sensores ópticos; el PLC envía la orden de levantar los brazos con la carga hasta el punto de trabajo y se detiene; luego espera dos segundos y empieza el movimiento axial de los brazos con el papel cargado hasta encontrar el punto de alineación. En este momento se detiene y queda listo para el proceso de enhebrado.

El proceso en el arrope inicia en la lectura de la velocidad en el tacómetro, el cual envía una señal de (0-10) VDC proporcional a la velocidad de la línea de producción. Este valor es leído por una entrada análoga del PLC. Este último acciona el mecanismo de giro del cilindro de arrope hasta encontrar el punto de cero; en este momento el PLC acciona nuevamente el cilindro en proporción al dato leído del tacómetro. Igualmente, a través de un sensor inductivo, el PLC cuenta y registra los pines del cilindro para determinar la posición del rodillo en el proceso; esto se hace continuamente para controlar el arrope y por tanto la temperatura del papel.

En las mesas calientes el proceso Shortpress es muy parecido al del cilindro de arrope, ya que de acuerdo con el dato de la velocidad obtenida del tacómetro el PLC envía una señal de (0-10) VDC hacia un variador, el cual recibe este voltaje para controlar la frecuencia de operación de los compresores de cada Short-Press que surten aire a las bolsas de presión en las mesas calientes.

Figura 11. Pantalla principal


Fuente: elaboración propia.

Programación del panel

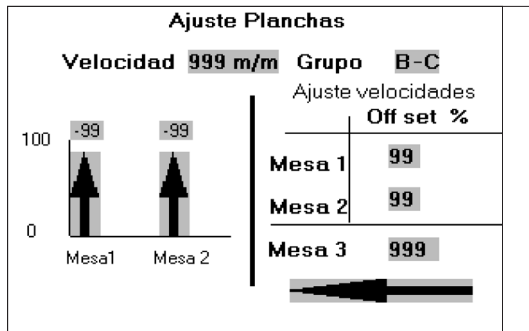
Para la manipulación usuario-máquina se realizaron básicamente cuatro pantallas, las cuales permiten diferentes tipos de intervención: usuario experto (programador) y operario.

Esta pantalla nos indica la velocidad de la máquina, el grupo que caracteriza la clave de cartón que se está fabricando, el porcentaje de arrope de acuerdo con la velocidad y los parámetros de velocidad para un arrope de 0 % a 100 %. Estos parámetros pueden ser modificados con un simple toque sobre los campos correspondientes; de esta forma, se activa el campo para poder escribir un valor diferente.

Con la tecla F5 se inicia la posición del rodillo de arrope (retorna a cero), y durante este proceso se visualiza el ojo; al terminar de iniciar la posición a cero del rodillo el ojo se oculta.

Con la tecla F1 se pasa a la pantalla de Shortpress (mesas calientes) y con la tecla F2, a lectura tabla.

Figura 12. Pantalla “Shortpress”



Fuente: elaboración propia.

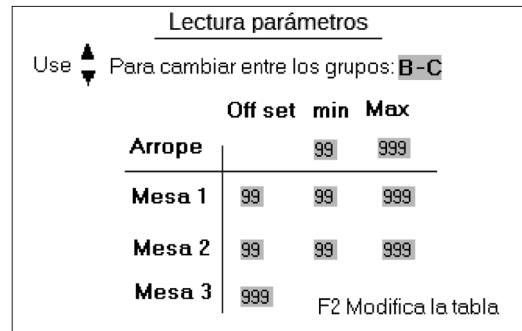
En esta pantalla se pueden ver los porcentajes de operación de las mesas calientes para un grupo de trabajo. La presión que se le da a la mesa uno y a la mesa dos permite un mejor secado de la goma en la lámina de cartón, y la presión de la mesa tres indica la tracción de la lámina.

Se pueden ajustar los valores *off set* iniciales de presión porcentual para cada mesa. Estas modificaciones se aplican al grupo que se está trabajando en el momento, pero no se guardan en la tabla. Con la tecla ESC se puede devolver a la pantalla principal.

Esta pantalla permite escoger con las flechas hacia arriba o hacia abajo el grupo que caracteriza la clave de cartón que se está fabricando. Una vez escogido el grupo, se muestran los valores precargados de nivel *off set* y de velocidades iniciales y finales para un arroje de 0 a 100 %, y para una presión de 0 a 100 % de cada mesa.

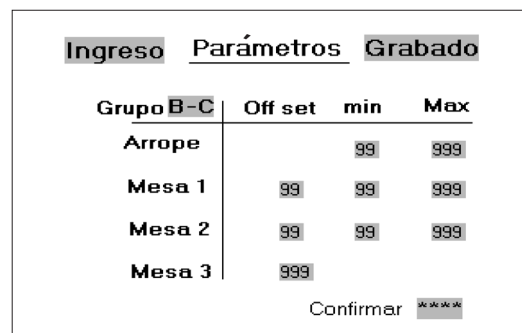
Esta pantalla es de solo lectura; en ella pueden verse las tablas características de cada grupo.

Figura 13. Pantalla “lectura tabla”



Fuente: elaboración propia.

Figura 14. Pantalla “modificar tabla”



Fuente: elaboración propia.

Con la tecla F2 se pasa a la pantalla de “modificar tabla” y con ESC se va a la pantalla principal.

En esta pantalla es posible modificar los parámetros del grupo previamente escogido en la pantalla anterior (lectura de tabla). Al modificar los parámetros de arroje y de cada mesa estamos modificando la respuesta de control. Con esto, de acuerdo con las necesidades, la temperatura del papel y de la lámina de cartón aumenta o disminuye para obtener un mejor pegue y secado de la goma.

En la tabla de parámetros ya están cargados los valores que se deberían trabajar. Dicha tabla se modifica cuando las características del papel por algún motivo cambian; aspecto que da la oportunidad de mejorar la calidad del producto. Por otra parte, solo se pueden guardar los parámetros modificados si se tiene la clave de confirmación, lo cual hace el sistema más seguro.

El cálculo entre la velocidad de la línea y la cantidad de arroje es elaborado con los datos que se toman del tacómetro existente en el motor de arrastre de la línea de producción y del valor preestablecido previamente en el PLC. Mediante la pantalla “modificar tabla”, se toma el dato de la tabla de claves y combinaciones, donde cada clave es un registro que contiene los valores máximos y mínimos de arroje. De acuerdo con el valor de la velocidad en la columna mlin/min, la cual muestra la velocidad en metros lineales por minuto, el dato de máximos y mínimos establece el rango entre el cual debe trabajar el arroje. Se toma el máximo como el 100 % y mínimo como 0 %, y en el arroje se tienen 72 pines, por lo que la relación es: 72 pines equivalen al 100 % del arroje y 0 pines, al 0 %. Posteriormente, se hace la proporción.

Un ejemplo para lo anterior es: en la tabla, claves y combinaciones, el primer grupo B-0 y la clave BX-1K tomaron el dato de arroje, que es 30 y 250, lo que quiere decir que en este rango debe trabajarse el arroje. La velocidad para esa clave es de 150 m/minuto. Utilizando una proporción simple de 60 se calcula el dato de arroje que se debe tener, en términos de la cantidad de pines que tiene el piñón del arroje, resultando de 43 pines. Ello significa que se debe rotar el arroje 43 pines en sentido derecho. De manera similar se hace con el sistema del

Shortpress, puesto que es proporcional al valor de la velocidad.

3. Resultados

Los resultados obtenidos después de 30 días de la puesta en marcha del sistema fueron los siguientes:

La lámina de cartón sale en condiciones óptimas de pegado y secado. Por otra parte, en comparación con el producto que se obtenía antes del proyecto, el cartón no sale abarquillado, ni quemado; además, se mejoró la calidad del producto final.

Los paros por reparación han desaparecido totalmente; no se han vuelto a presentar daños de las coronas en los tornillos de deslizamiento. Adicionalmente, los paros de producción por mantenimiento en el montarollos disminuyeron.

La temperatura del *liner* exterior a la salida del precalentador cumple con los estándares de calidad de manera óptima, evidenciando del monitoreo de temperatura, en comparación con los datos de meses anteriores a la implementación del proyecto originalmente, se mostraba que la temperatura estaba fuera del estándar, hecho que obligaba al operario a manipular la máquina..

Finalmente, el operario invierte menos tiempo en la colocación de los rollos, en la calibración del arroje y en el ajuste de la presión.

4. Conclusiones

La automatización del control de arroje, en conjunto con el control del Shortpress, contribuyó a la disminución del desperdicio de papel. Esto implicó el índice más bajo de desperdicio de los últimos dos años.

La implementación de finales de carrera en el montarrollos y el control de movimientos de los brazos favorecieron la disminución progresiva de tiempos perdidos de tres horas y media a cero en un lapso de seis meses.

La semiautomatización realizada en esta empresa es una muestra de muchos sistemas que se pueden optimizar y que en la actualidad se realizan de manera manual; esta alternativa se debe prever antes de pensar en comprar una máquina mucho más costosa como las ofrecidas por compañías extranjeras [7] y que requiere una inversión no solo en la compra, sino también en la importación, la instalación y la capacitación del personal que va a operar la maquinaria.

Por último, este tipo de inversión en tecnología se ve reflejado en factores como aumento de la productividad, disminución de costos de mantenimiento, ahorro de energía, disminución de los tiempos de producción y disminución del desperdicio de material,

Reconocimientos

Los autores reconocen al grupo de investigación INTEGRA por la posibilidad de implementar este producto de investigación y desarrollo tecnológico, en instalaciones de producción en planta de cartón, en la cual se realizan adecuaciones de marquillado de cableado en eventos de mantenimiento, protección de sensores, así como la implementación de un sistema mecánico de contingencia para prever fallas en elementos electrónicos.

Referencias

- [1] Eurotron, “Termómetros infrarrojos, Termómetros IR automatización, Rayomatic 10,” Eurotron. [En línea]. Disponible en http://www.eurotron.com/index_sp.aspx
- [2] Código I12000129. [En línea]. Disponible en <http://aecoasp.highsiteweb.com/public/pdfphp/I12000129.pdf>.
- [3] ADVFIT Automation, “TELEMECANIQUE SENSORS -Osiconcept Inductive Proximity Sensor,” ADVFIT Automation. [En línea]. Disponible en http://www.advfit.com/p_detail.asp?Id=289
- [4] Siemens, “Are You Looking for Drive Technology?, converters, low Voltage converters, frequency inverters micromaster, 440,” Siemens. [En línea]. Disponible en <http://www.automation.siemens.com>
- [5] Unitronics, “Automation Products, vision 280,” Unitronics. [En línea]. Disponible en <http://www.unitronics.com/Series.aspx?>
- [6] Unitronics, “Automation Products, vision 280, snap-in I/Os,” Unitronics. [En línea]. Disponible en <http://www.unitronics.com/Series.aspx?>
- [7] Grupo ondulator. [En línea]. Disponible en http://www.fosberggroup.com/en-us/prodotti/gruppo_ondulatore.aspx