

Diseño e implementación de un sistema para el control de velocidad para una máquina recubridora de hilo

Miguel Angel Caro Quiroga
Universidad Distrital Francisco José de Caldas
Facultad de Ingeniería
Especialización en informática y automática industrial
migang.car@gmail.com

Resumen- Este documento presenta el diseño y la implementación de un sistema de control automatizado como alternativa de solución para máquinas de recubrimiento de hilo que no cuentan con la opción de realizar un control de velocidad directo sobre sus motores, sino que por el contrario los cambios en parámetros como el de velocidad deben ser realizados mediante el intercambio de poleas y engranajes de piñones manualmente. Para dicha implementación se sustituye el control eléctrico de la máquina que consta de arrancadores estrella triangulo por variadores de velocidad comunicados con un PLC que cuenta con interfaz de usuario

Palabras Clave- PLC, variador de velocidad, interfaz, comunicación.

I. INTRODUCCIÓN

El recubrimiento de fibras textiles es un proceso utilizado para la creación de nuevas fibras que se asemejan a fibras naturales de difícil obtención, ya sea por la complejidad del proceso empleado para su obtención o por la capacidad reducida en la cantidad que se podría obtener de forma natural, estas nuevas fibras se usan en la fabricación de telas para la producción de un alto número de prendas de vestir con características de muy alta calidad. De aquí que la gama de hilos recubiertos es muy amplia y abarca una cantidad muy alta de clases de hilos obtenidos por el proceso de recubrimiento, por lo tanto las técnicas convencionales de recubrimiento de hilo tienen modificaciones en las condiciones del proceso de elaboración en igual número de clases de hilos recubiertos, en las que se incluyen la velocidad a la que debe ir el hilo elástico o elastómero que es recubierto con otro hilo no elástico, la tensión mecánica a la que se someten los hilos en las diferentes etapas del proceso, las revoluciones o número de torsiones que debe dar el hilo no elástico sobre el núcleo o hilo elastómero y el sentido de giro en el cual se debe realizar la torsión.

En la industria textil todas estas condiciones son modificadas al inicio del proceso ajustando las condiciones de la máquina recubridora destinada para dicho fin, lo que implica que para tal tarea la máquina debe contar con la posibilidad de modificar las velocidades de los motores principales mediante el ajuste de determinados parámetros para la obtención del producto final deseado. Esto es posible con gran facilidad hoy día gracias a la tecnología con la que cuentan las máquinas de última generación, lo que no sucede

con máquinas de modelos de fabricación de algunos años atrás.

Una actualización correcta en una máquina con tecnología antigua permitiría que dicha máquina tenga un comportamiento muy similar a una máquina nueva pero sin tener que realizar una inversión tan elevada como la que se tiene que hacer al comprar maquinaria nueva.

II. TEORÍA DEL RECUBRIMIENTO DE HILO

El recubrimiento o envolvimiento de hilo es un proceso que enrolla uno o más hilos (revestimiento) en torno a otro hilo (núcleo) sin impartir ningún efecto de torsión sobre este núcleo.

Los hilos recubiertos pueden ser de dos tipos:

- Recubrimiento sencillo (hilo núcleo + hilo textil) enrollado en torsión S o Z.
- Doble recubrimiento para asegurar un balance de torsión perfecto (hilo núcleo + dos hilos textiles enrollados en direcciones opuestas).



Fig. 1 Sentido de torsión de un hilo

Fuente: [6]

Principio de operación para el recubrimiento de hilo:

El hilo núcleo procedente de una bobina de alimentación se hace pasar por un control de tensión preciso a través del eje perforado de un husillo y se enrolla en tubos. Al mismo tiempo el husillo se hace girar junto con un paquete de hilo de

recubrimiento, que se enrolla en el sentido en el que gira sobre el hilo de núcleo que pasa a través del eje del husillo. La configuración de la máquina puede tener un único husillo de maniobra, en cuyo caso se llevará a cabo un recubrimiento sencillo, o tener dos husillos en serie alineados en su eje, en cuyo caso la operación se denomina doble recubrimiento. Algunos sectores de aplicación relevantes (calcetería para dama, resortes para calcetines, telas elásticas, vendas, cordones) utilizan hilos recubiertos compuestos de hilo núcleo de elastano e hilos de recubrimiento texturizados; otro sector de gran interés es el de hilados de fantasía, donde el elemento de núcleo puede consistir en hilos rígidos.

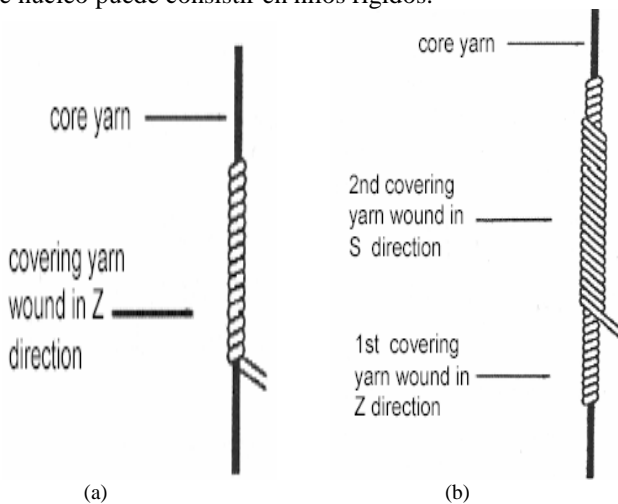


Fig. 2 Hilos con recubrimiento sencillo (a). Hilos con recubrimiento doble (b) Fuente: [6]

Un proceso típico para la producción de hilos de elastano cubierto muestra los siguientes componentes:

- Sistema de alimentación positivo del hilo de elastómero alimentado por el paquete (dispositivo de rodillo).
- Zona de preparación preliminar controlada por una unidad de alimentación con piñones. Esta zona se requiere generalmente para hilos con una masa lineal superior a 156 dtex (relación 1,3 aprox.).
- Husillo inferior o primero (torsión S o Z) que gira a velocidades variables (27,000- 12000 t/min o RPM) en función del peso de la bobina de arrastre (300 a 1000 g de acuerdo con la masa lineal). El hilo con recubrimiento sencillo puede resultar inestable y tiene tendencia a quedar rizado.
- Husillo superior o segundo (en este caso hilo con doble recubrimiento, la dirección de la torsión es contraria al del primer husillo). Con el fin de obtener un hilo balanceado, es necesario que la velocidad (giros) del segundo husillo sean más bajas (20-30%) que los del primer husillo; de hecho, el segundo recubrimiento se lleva a cabo sobre un hilo de mayor diámetro, por lo tanto se obtiene el equilibrio sólo cuando la misma longitud de hilo se ha enrollado en la bobina final.
- Sistema de tensión: esta operación produce la parte principal de la preparación del hilo de elastano. Se lleva a cabo por unidades de alimentación con discos ranurados o por rodillos de goma como contrapesos de equilibrado. El número de

espiras por metro lineal de hilo núcleo depende de la velocidad de rotación de los husillos (t / min) y de la velocidad de transición del hilo de núcleo (metros / min)

- Bobinas o tubos de enrollado (máx. Velocidad de 60 m / min) con forma cilíndrica o también tubos cónicos. Un papel decisivo en los procesos posteriores tiene lugar en la perfecta conformación de arrollamiento en la bobina, la cual tiene que mostrar un grado de inclinación largo y cruzado y bordes cónicos en las bobinas.

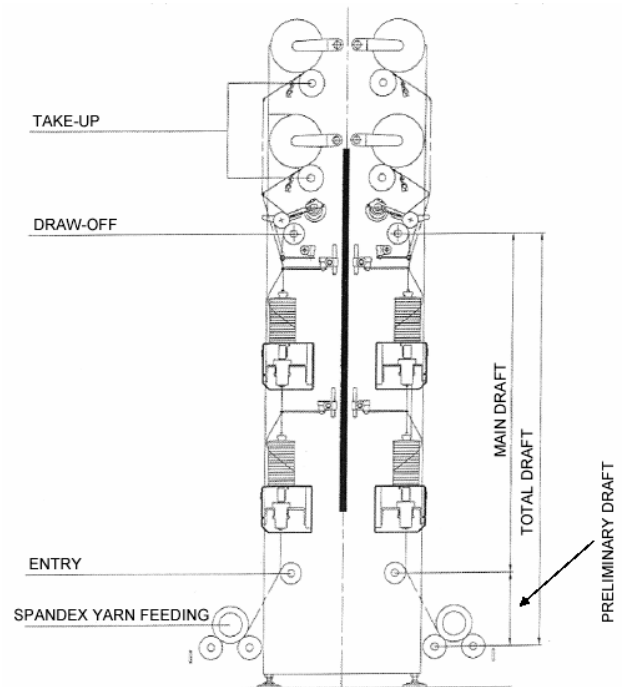


Fig. 3 Esquema de una máquina de dos caras para recubrimiento doble sencillo.

Fuente: [6]

III. EQUIPOS UTILIZADOS

En la tabla 1 se mencionan los equipos y materiales necesarios para la implementación del sistema de control de velocidad en la maquina recubridora.

TABLA 1 LISTA DE MATERIALES Y EQUIPOS

DESCRIPCION	CANTIDAD
CONVERTIDOR DE FRECUENCIA WEG 50 HP CFW-11	1
CONVERTIDOR DE FRECUENCIA WEG 40 HP CFW-11	1
CONTROLADOR LOGICO PROGRAMABLE PLC 300	1
MODULO DE COMUNICACIÓN SERIAL MODBUS RS-485	2
CABLE APANTALLADO 4 x 10 AWG	25 m
GABINETE METALICO 40cm x 40cm x 15 cm	1
SOFTWARE DE PROGRAMACION WEG PROGRAMMING SUITE 2.10	1

Fuente: Autor

IV. DISEÑO Y METODOLOGÍA

El diseño del sistema de control se inicia con un diagrama esquemático de los dispositivos y equipos, donde se observa a un nivel muy general su participación en el circuito.

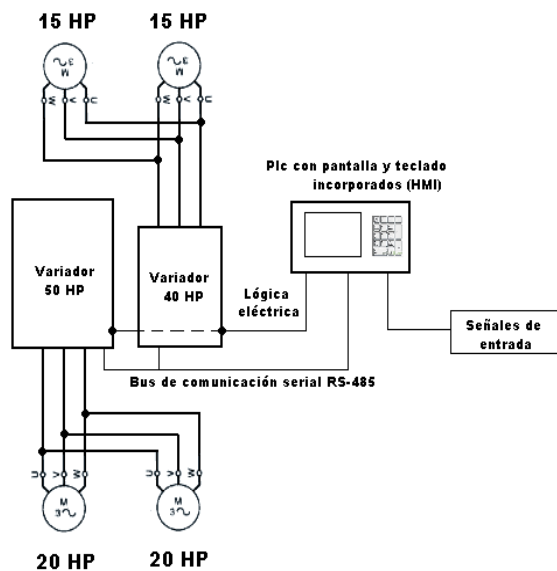


Fig.4 Diagrama esquemático de conexiones

Fuente: Autor

Circuito de control:

Los motores a controlar son de rotor jaula de ardilla, en total suman una potencia de 70 HP, el control de velocidad se lleva a cabo mediante convertidores de frecuencia, para este caso cada convertidor alimenta dos motores como se aprecia en el esquema, cada variador de velocidad es parametrizado en su propia terminal de programación de acuerdo al manual del fabricante para que los datos de velocidad y sentido de giro sean transmitidos bajo el modelo de comunicación maestro esclavo y protocolo RS-485 por el PLC, mientras que la activación/desactivación de cada variador, start/stop de los motores, paro por emergencia y alarmas serán señales eléctricas provenientes de las salidas digitales del PLC en el cual se ejecuta el programa de la aplicación, que adquiere los datos de entrada del proceso (velocidades de los motores, sentido de giro y la habilitación o no de determinados motores) mediante la interfaz de usuario compuesta por una pantalla y un teclado incorporados en el mismo PLC.

Este funcionamiento es posible gracias al programa que ejecuta el PLC, el cual ha sido elaborado en lenguaje de programación Ladder mediante el software provisto por el fabricante para dicho equipo, aquí se procesan entradas, datos y condiciones del proceso y se realiza la acción requerida transfiriendo la información hacia los variadores que definen los parámetros de trabajo de los motores de acuerdo a los datos enviados por el PLC.

Fundamentos tecnológicos de la regulación electrónica de velocidad en motores.

Un regulador electrónico de velocidad está formado por circuitos que incorporan transistores de potencia como el IGBT (transistor bipolar de puerta aislada) o tiristores, siendo el principio básico de funcionamiento transformar la energía eléctrica de frecuencia industrial en energía eléctrica de frecuencia variable.

Esta variación de frecuencia se consigue mediante dos etapas en serie. Una etapa rectificadora que transforma la corriente alterna en continua, con toda la potencia en el llamado circuito intermedio y otra inversora que transforma la corriente continua en alterna, con una frecuencia y una tensión regulables, que dependerán de los valores de consigna. A esta segunda etapa también se le suele llamar ondulator. Todo el conjunto del convertidor de frecuencia recibe el nombre de inversor.

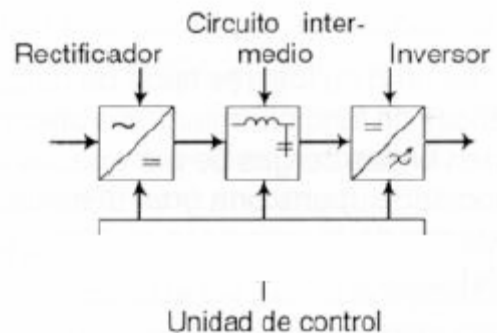


Fig. 5 Diagrama de un variador de frecuencia

Fuente: [1]

La mayoría de las marcas incluyen dentro del propio convertidor protecciones para el motor, tales como protecciones contra sobrecorriente, sobretensión, fallo contra desequilibrios, defectos a tierra, etc, además de ofrecer procesos de arranque y frenados suaves mediante rampas de aceleración y de frenado, lo que redundará en un aumento de la vida del motor y las instalaciones.

Como debe saberse, el uso de convertidores de frecuencia añade un enorme potencial para el ahorro de energía disminuyendo la velocidad del motor en muchas aplicaciones.

Con respecto a la velocidad los convertidores suelen permitir dos tipos de control:

Control manual de velocidad: La velocidad puede ser establecida o modificada manualmente (display de operador). Se tiene la posibilidad de variación en el sentido de giro.

Control automático de velocidad: Utilizando realimentación se puede ajustar la velocidad automáticamente. Esta solución es la ideal para la instalación en aplicaciones en las que la velocidad demandada varía de forma continua.

Modo de control vectorial sensorless.

Este modo de control de velocidad es utilizado como la estrategia de control en los motores de la máquina recubridora (Vectorial sensorless), el cual es parametrizado en los variadores de velocidad, en los cuales se cierra internamente el lazo de control. Para este modo de operación se deben tener datos nominales del motor y otros calculados por el variador en una rutina de autoajuste en la cual el motor se encuentra conectado a este.

Este tipo de control está basado en la separación de la corriente del motor en dos componentes:

- Corriente directa I_d (orientada con el vector de flujo electromagnético del motor).
- Corriente de cuadratura I_q (perpendicular al vector de flujo del motor).

La corriente directa está relacionada al flujo electromagnético en el motor, mientras que la corriente de cuadratura está directamente relacionada al torque (par) electromagnético producido en el eje del motor. Con esta estrategia se tiene un “desacoplamiento”, es decir, se puede hacer en control independiente del flujo y del torque (par) en el motor a través de control de las corrientes I_d y I_q , respectivamente.

Como estas corrientes son representadas por vectores que giran a velocidad sincrónica, cuando son vistas desde un marco referencial estacionario, se hace una transformación referencial, para el referencial síncrono. En el referencial síncrono estos vectores se transforman en valores CC proporcionales a la amplitud de los respectivos vectores. Con lo que se simplifica considerablemente el circuito de control.

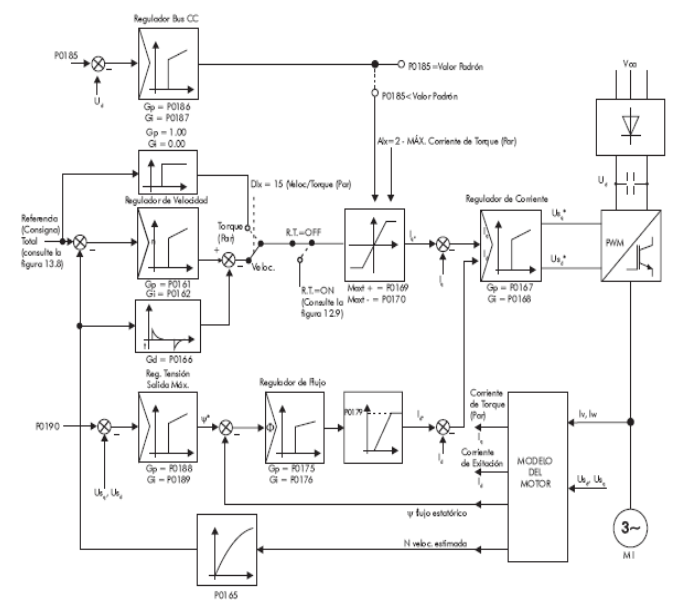


Fig.6 Diagrama de bloques del control vectorial sensorless Fuente: [8]

V. IMPLEMENTACIÓN

Luego de las etapas de diseño del circuito, elección y compra de equipos se inició la interacción con los variadores y el plc, conectados sin carga para realizar pruebas y un reconocimiento inicial de estos. El diseño del programa en el PLC se realizó con el software provisto por el fabricante y conserva la lógica eléctrica original de la máquina, señal de arranque y parada mediante pulsadores, indicadores de encendido, modo de trabajo y alarma mediante indicadores luminosos, además se incorporó la comunicación de este con los variadores utilizando módulos de comunicación RS-485 (Modbus RTU) para la asignación de condiciones de trabajo de los motores y el ingreso de datos por el usuario mediante una pantalla y un teclado incorporados en el PLC.

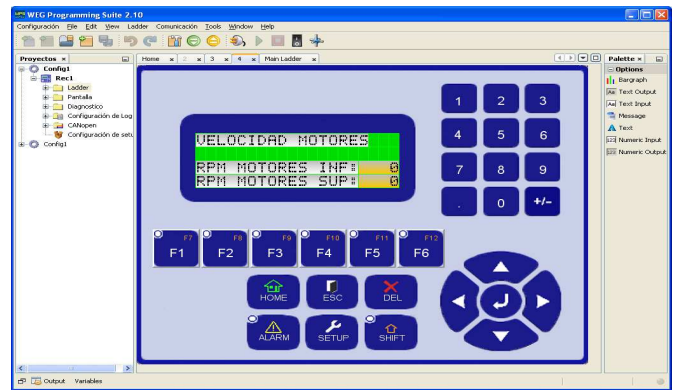


Fig.7 Programación de la pantalla

Fuente: Autor

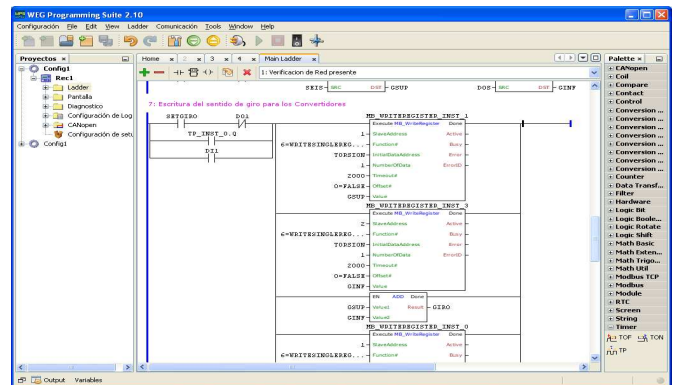


Fig.8 Escritura del programa mediante el software WPS

Fuente: Autor

En la implementación física del proyecto se reemplazó un circuito que controla cuatro motores de inducción de 20, 20, 15 y 15 HP respectivamente, con arrancadores estrella-triángulo independientes para cada motor, pero enlazados eléctricamente para su funcionamiento simultaneo, para el montaje se utilizó el gabinete existente para la instalación de los nuevos equipos.

El montaje inició retirando los componentes que operaban anteriormente en el control eléctrico y alistando el tablero para el montaje y la ubicación de dos variadores de velocidad de 50 y 40 HP en el gabinete, para el control de dos motores cada uno, así el variador de 50 HP alimenta dos motores de 20 HP cada uno (motores inferiores de la maquina) y el variador de velocidad de 40 HP alimenta dos motores de 15 HP cada uno (motores inferiores de la maquina) y la conexión de los motores a los variadores como se observa en la figura 4. La elección de potencia mayor de los variadores se hizo basada en el factor de sobredimensionamiento por perdidas en eficiencia debidas a la altura sobre el nivel del mar a la que los variadores van a trabajar.

Posteriormente se realizó el cableado de control entre PLC, variadores, pulsadores, lámparas de señalización y por último se realizaron pruebas en vacío para verificar la ejecución del programa y finalmente llevar a cabo pruebas de producción con materia prima, tales como verificación de Velocidades de salida vs. Velocidades programadas, consumos de corriente en motores durante arranque y operación normal, producto terminado acorde a las especificaciones del departamento de calidad, etc.



Fig.9 Tablero de control antes de la modificación.

Fuente: Autor



Fig.9 Tablero de control después de la modificación.

Fuente: Autor

VI. RESULTADOS

Los resultados de este proyecto abarcan completamente la posibilidad de realizar todos los procesos de recubrimiento de hilo que actualmente se realizan sin sacrificar ninguno de ellos, implementando el control de velocidad en los motores, permitiendo modificar parámetros de operación y dando a la máquina una actualización necesaria para realizar estos procesos de recubrimiento de hilo en un valor más amplio en los rangos de velocidad.

El uso de engranajes en ejes de transmisión secundarios con velocidades de salida dependientes de piñonería en algunos puntos de la máquina obliga a que el control de velocidad solo se pueda ejercer directamente en los motores principales y estos a su vez sobre los husos o husillos donde va el hilo que recubre al elastano, haciendo necesario el reemplazo de piñones en los engranajes cuando se requiere el cambio de velocidad en estos ejes de transmisión.

Para el control de velocidad de estos ejes secundarios se deberán seguir utilizando relaciones de piñonería, si se quisiera trabajar dichos ejes con velocidad ajustable el proyecto se tendría que extender y realizar modificaciones mecánicas para incorporar nuevos motores en la máquina y usar variadores de velocidad para así controlar la velocidad en dichos ejes.

A continuación se presenta una tabla, que contiene información de datos promediados de 5 meses de operación, que compara la cantidad de horas de servicio para producción de la máquina, las horas de parada por mantenimiento y cambios mecánicos y los kilos de producción de material al mes, antes y después de la implementación del control de velocidad.

TABLA 2
COMPARATIVO DE PRODUCCIÓN Y TIEMPOS DE OPERACIÓN MENSUAL

FACTOR MEDIDO	ANTES	DESPUES
Tiempo de servicio en producción (Horas)	580	616
Hilo recubierto (kilogramos)	750	900
Tiempo muerto por mantenimiento (Horas)	42	6

Fuente: Autor

VII. CONCLUSIONES

El trabajo desarrollado para la implementación de un control de velocidad en una máquina recubridora de hilo arrojó los resultados esperados en el margen de producción de la máquina, ya que al realizar pruebas en el laboratorio de calidad al hilo procesado en esta máquina, se pudo comprobar que las condiciones y parámetros mínimos de calidad y composición del material fueron superados satisfactoriamente.

La comunicación que se estableció entre el PLC y los variadores de velocidad mediante el protocolo modbus RS 485 se comprobó al realizar la modificación de parámetros de la máquina en la HMI del PLC, visualizando estos valores tanto en esta HMI como en los paneles HMI de cada variador incorporado, así los valores digitados y ajustados que se transfirieron a los variadores se midieron físicamente con estroboscopia y tacómetro digital para asegurar que los valores programados correspondieran con los valores reales (RPM, sentido de giro, modo de operación, etc.)

Con esta implementación queda demostrado que al actualizar una máquina recubridora de hilo de tecnología antigua, la cual está limitada para elaborar únicamente cierto número de fibras textiles en relación a las que se pueden elaborar hoy día con máquinas de tecnología reciente, el resultado obtenido es poder contar con una máquina para procesar fibras textiles con condiciones de producción y

calidad exactas a las que máquinas de tecnología actual proveen, sin tener que realizar inversiones tan elevadas como las que implicaría la compra de maquinaria nueva y obteniendo resultados completamente satisfactorios en la elaboración del producto, lo que se traduce en un incremento en la competitividad en el mercado para proveedores de este tipo de materia prima.

VIII. REFERENCIAS

- [1] FESTO, Controlador lógico programable. Libro de texto TP301
- [2] G. Frey and L. Litz. Formal methods in plc programming. In Proc. of IEEE Conference on System Man and Cybernetics, Nashville, pp. 2431-2436, oct 2000.
- [3] GUTIERREZ RAMIREZ, Humberto H. Automatización Industrial: Teoría y laboratorio. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Primera Edición 2010.
- [4] S. Hu, Z. Zhao, Y. Zhang, and S. Wang, "A Novel Modbus RTU-based Communication System for Adjustable Speed Drives," In Proc. of VPPC 2008, Spet. 2008.
- [5] Rubio.Benito.M, Rubio.Benito.M, Fuertes.J.M, Kahoraho.E,and Perez.Arzo.N, "Performance evaluation of four field buses," IEEE Symposium on Emerging Technologies and Factory Automation, vol.2, 1999
- [6] R. W. Moncrieff. Man made fiber_textile process. Third edition. John Wiley & Sons, Inc., New York, 1957. [Online]: http://www.indotextiles.com/index.php?option=com_doc_man&task=doc_details&gid=191&Itemid=65
- [7] UNIVERSIDAD TECNOLOGICA NACIONAL, Facultad regional de Avellaneda. Variadores de frecuencia. 2009. [Online]: http://www.fra.utn.edu.ar/download/carreras/ingenierias/electrica/materias/planestudio/quintonivel/electronicaII/apuntes/variadores_de_frecuencia.pdf
- [8] WEG, Convertidor de frecuencia. Manual de programación CFW – 11. Versión de software 3.1X 2012 Disponible en: <http://www.weg.net>