

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

DESAROLLO DE UN SISTEMA DE CONTROL PARA MANTENER LA VELOCIDAD TANGENCIAL DE UN CARRETE DE ENROLLADO DE TEXTILES

Profesor guía: Ing. Tamara Pérez.
Tutor industrial: Ing. Walter DI Tulio.

Presentado ante la ilustre
Universidad Central de Venezuela
por el Br. Sharif El Masri El Masri
para optar al Título de
Ingeniero Electricista

Caracas, 2007

DEDICATORIA

Mi tesis la dedico con todo mi amor y cariño.

A ti DIOS que me has dado la oportunidad de vivir y tener una familia maravillosa.

Con mucho cariño a mis padres y hermana que han estado conmigo en todo momento apoyándome en las buenas y en las malas.

A mis padres, hermana y profesores dándome la fuerza de continuar hasta lograr esta meta de finalizar una etapa de mi vida.

AGRADECIMIENTOS

Gracias a mis padres Adel y Laila y mi hermana Adelaila, que siempre se han preocupado por mí, enseñándome lo bueno y lo malo de la vida, brindándome todo su amor. Gracias por estar conmigo y recuerden que son muy importantes y no hay forma de agradecerles y decirles lo importante que son para mi.

Gracias Tamara por ser más que una profesora.

Mary Siempre te recordare como profesora y como madre.

Gracias a mis profesores.

M. Torres, J. Bernadas, R. Díaz, J. Milá, R. Arreaza S. Morales, J. Romero,

J. Molina, P. Tremante, N. Ojeda, F. Brito, E. Brea, W. Malpica.

Quien cada uno de ellos hizo su aporte importante en mi formación académica y moral.

Gracias Daisy, Yarinnet, Maria, Ligia, Belkis y Gipsy por tenderme una mano.

El Masri E. Sharif

**DESAROLLO DE UN SISTEMA DE CONTROL PARA
MANTENER LA VELOCIDAD TANGENCIAL DE UN CARRETE
DE ENROLLADO DE TEXTILES.**

Profesor guía: Ing. Tamara Pérez. Tutor industrial: Ing. Walter DI Tulio. Tesis. Caracas. U.C.V Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Eléctrica. Ingeniero Electricista. Opción: Electrónica. Institución: Telares Caroni C.A. 2007. 78 H + anexos.

Palabras claves: Convertidores de frecuencia. Control vectorial. Control escalar

Resumen. En la industria textil Telares Caroni C.A., se cuenta con una máquina de engomado conformada por dos secciones, la sección primaria encargada de la inserción de materia prima, engomado o acabado y calentamiento y secado del producto y la sección secundaria, encargada de la canalización y tensión de enrollado en la hilatura o textil. Cada sección es accionada por un motor de corriente alterna controlado a través de un convertidor de frecuencia. Es por ello que nace la necesidad del diseño de un control del proceso, ya que dependiendo del material el diámetro del carrete puede o no crecer abruptamente ocasionando una variación de la velocidad tangencial del carrete de enrollado así como también sobretensión en las piezas mecánicas y en el tren de engranajes. Con el fin de solucionar este problema se plantearon una serie de posibles soluciones realizando la implementación de algunas de ellas, sin observar mejoría en el control del proceso, por tal motivo, se decide reprogramar los convertidores con el fin de sustituir la técnica de control escalar que estos traen programada de fábrica, por la técnica de control vectorial de par sin sensor. Obteniéndose una mejoría considerable en el control del proceso así como también el aumento de la producción en un 300%.

INDICE GENERAL

DEDICATORIA	2
RESUMEN.....	I
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.	3
1.1 Antecedentes y justificación.	3
1.2 Objetivo general	8
1.3 Objetivos específicos	9
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO	10
2.1 Convertidores de frecuencia.....	10
2.1.1 Convertidores directos.	11
2.1.2 Convertidores indirectos.	12
2.2 Control Escalar.....	14
2.2.1 Control Voltaje - Frecuencia (V/F).....	14
2.2.2 Control de la corriente del estator y de la frecuencia del deslizamiento o simplemente Control del Deslizamiento.	15
2.3 Control Vectorial.....	16
2.3.1 Control por Campo Orientado (FOC).	16
2.3.2 Control Vectorial con Sensores.....	18
2.3.3 Control Vectorial sin sensor (SENSORLESS).	19
2.3.4 Control Directo del Par (DTC).....	20
CAPÍTULO III. CARACTERÍSTICAS DE LA MÁQUINA DE ENGOMADO Y POSIBLES SOLUCIONES AL PROBLEMA PLANTEADO.	22
3.1 Características de la máquina de engomado:	22
3.2 Pruebas realizadas a la máquina para diagnosticar la posible solución.	23
3.3 Posibles soluciones al problema planteado.....	26
3.3.1 Empleo de un potenciómetro que mida el diámetro del carrete de enrollado.....	27
3.3.2 Mediante el uso de un cuenta vueltas con salida analógica o digital.	29
3.3.2 Detectar la presión ejercida por el material a enrollar sobre un rodillo, empleando micro galgas.....	31
3.3.4 Sensor de distancia con salida analógica o digital.	34
3.3.5 Empleo de un control PID o reprogramación de los convertidores de frecuencia que actualmente se encuentran instalados en la máquina con el fin de realizar el control de tensión de enrollado en cualquier material.....	37
CAPÍTULO IV. SOLUCIÓN AL PROBLEMA PLANTEADO.	42
4.1 Reconfiguración del convertidor.....	42
4.1.1 Descripción de parámetros del convertidor.....	45
4.1.2 Programación del cambio de giro.	61
4.2 Validación de la propuesta implementada.	65
4.3 Mediciones realizadas en el convertidor MICROMASTER 440.....	66

4.3.1 Tensión de alimentación del convertidor de frecuencia MICROMASTER 440.....	66
4.3.2 Corriente de entrada al convertidor de frecuencia.	67
4.3.3 Corriente consumida por el motor.....	69
4.3.4 Voltaje que entrega el convertidor al motor.....	73
CONCLUSIONES	74
RECOMENDACIONES	76
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	77
ANEXOS	79
Anexo A. Especificaciones del convertidor MIDIMASTER.....	80
Anexo B. Especificaciones del convertidor MICROMASTER 440.....	81
Anexo C. Esquema del control vectorial de par sin sensor.....	82
Anexo D. Especificaciones del sensor láser DT 500.	83
Anexo E. Especificaciones del sensor por ultrasonido modelo BERO.....	84
Anexo D. Programación completa del convertidor MICROMASTER 440.	85

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Vista diagonal de la máquina de engomado.	4
Figura 2. Esquema de control de mando actual.	6
Figura 3. Esquema de tracción sección secundaria.	7
Figura 4. Relación entre el radio de la circunferencia y la velocidad tangencial.	8
Figura 5. Diagrama de bloques que conforman un convertidor de frecuencia.	13
Figura 6. Inversor CRPWM con control de la frecuencia del deslizamiento.	16
Figura 7. Control Directo del Par y Control Vectorial del Flujo del Estator	21
Figura 8. Curva de carga en cada motor.	24
Figura 9. Representación física de instalación del potenciómetro.	27
Figura 10. Área cercana al carrete de enrollado.	28
Figura 11. Instalación de un encoder en el eje del carrete de enrollado.	29
Figura 12. Constitución física de la tela.	30
Figura 13. Vista lateral del carrete de enrollado cuando tiene tela e hilo.	31
Figura 14. Esquema de posible instalación de galgas sobre la base de un rodillo.	31
Figura 15 . Posible instalación de micro galgas.	33
Figura 16. Representación de la instalación de un sensor de distancia.	34
Figura 17. Diagrama del sistema de control diseñado con control escalar empleando sensores de distancia.	35
Figura 18. Esquema de funcionamiento del sensor BERO Siemens.	36
Figura 19. Equipos de accionamiento instalados en la máquina de engomado.	37
Figura 20. Esquema del convertidor MM440.	41
Figura 21. Esquema de control actual.	43
Figura 22. Esquema del control vectorial de par sin sensor.	44
Figura 23. Aplicaciones del convertidor	47
Figura 24. Tarjeta de terminales convertidor MICROMASTER 440.	52
Figura 25. Escalamiento de la entrada analógica.	53
Figura 26. Rampa de aceleración.	56
Figura 27. Rampa de desaceleración.	57
Figura 28. Copia de datos.	61
Figura 29. Forma de onda tensión de alimentación del convertidor funcionando.	66
Figura 30. Forma de onda de al corriente consumida por el convertidor a 1/3 de la carga.	67
Figura 31. Forma de onda de al corriente consumida por el convertidor a 1/2 de la carga.	68
Figura 32. Forma de onda de la corriente consumida por el motor a 1/2 de la carga.	69
Figura 33. Forma de onda de al corriente consumida por el motor.	70
Figura 34. Esquema monofásico de un convertidor de frecuencia.	70
Figura 35. Diagrama de control de los IGBT.	72
Figura 36. Forma de onda de la tensión entregada al motor.	73
Figura 37. Forma de onda de la tensión entregada al motor.	73

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Corriente consumida por cada motor de la máquina de engomado.	23
Tabla 2. Diferentes métodos de control que posee el convertidor MM440 (Siemens).	39
Tabla 3. Configuración de fábrica.....	49

INTRODUCCIÓN

En la industria textil, la máquina de engomado es una herramienta de vital importancia, ya que mediante el empleo de dicha máquina se realizan procesos donde se dan una serie de tratamientos a los hilados utilizados en la elaboración de textiles, así como también se realizan acabados sobre textiles para ser usados en elementos de uso diario en nuestras vidas, por ejemplo: zapatos, chaquetas, morrales, etc.

Luego de escuchar el planteamiento por parte de la empresa textil Telares Caroni C.A., sobre el inconveniente que se presenta actualmente en la máquina de engomado, se empezó a realizar un estudio detallado de los elementos que la conforman, así como la lógica de control y la metodología de trabajo con el fin de optimizar al máximo esta etapa del proceso en la fabricación y acabados de textiles.

El desarrollo del proyecto se comenzó con la investigación de los sistemas de control que actualmente se emplean en el ramo textil y en la industria papelera con este tipo de maquinarias, solicitando información directamente al fabricante de la máquina, el cual todavía se encuentra en el mercado de trabajo.

Es importante mencionar que como premisa fundamental se realizó un levantamiento de los dispositivos de control que se encuentran actualmente instalados en la máquina, con el fin de ser aprovechados y cumplir con la meta planteada de resolver el inconveniente que se encontraba en el proceso de manufactura.

El trabajo escrito se encuentra estructurado en cuatro capítulos como a continuación se describe.

En el capítulo I, se presenta la descripción y funcionamiento de la máquina de engomado, posteriormente se realiza una breve reseña histórica sobre los sistemas de control que se encontraban instalados así como las modificaciones que se les hicieron a estos sistemas y por último, el planteamiento del problema indicando el objetivo de este trabajo.

En el capítulo II, se presenta el marco teórico del concepto, funcionamiento y tipos de convertidores que aplican la técnica de Control Escalar y Control Vectorial. Así como también se explican cada una de estas técnicas.

En el capítulo III, se presentan los sistemas de control que actualmente son empleados en este tipo de maquinarias, así como también el estudio y comportamiento de la máquina de engomado en los diferentes procesos de acabados textiles y el estudio de las posibles soluciones al problema planteado en el capítulo uno.

En el capítulo IV, se describe la programación de la lógica de control, empleando los dispositivos que actualmente están instalados en la máquina. Así como también el comportamiento de las variables eléctricas que emplea el convertidor de frecuencia (Voltaje, Corriente, Frecuencia).

CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

1.1 Antecedentes y justificación.

La empresa textil TELARES CARONI C.A., ubicada en la zona industrial Cloris, avenida Este 1, Guarenas estado Miranda; posee una máquina que es empleada en la preparación de los plegadores, que son carretes que pueden contener hasta 6000 hilos enrollados de forma paralela de 2010 mts de longitud cada uno aproximadamente. También se le pueden dar acabados a estos hilos con el fin de evitar la ruptura debido al roce cuando se este fabricando la tela, así como también se puede colocar una capa de resina en la tela con el fin de mejorar el deshilachamiento de la misma cuando se este empleando en la industria de la confección, entre otras aplicaciones.

La máquina fue fabricada en el año 1969 por la empresa WEST POINT FOUNDRY & MACHINE COMPANY, ubicados en WEST POINT, GEORGIA (U.S.A) Serial N°: B208007; esta fue adquirida por la empresa en el año 1986, la cual se encontraba en funcionamiento en otra industria textil en el país. Los controles y motores que se encontraban instalados para ese momento funcionaban con corriente continua, por lo tanto la máquina constaba de un tablero en el que se realizaba la rectificación y transformación de corriente alterna a corriente continua.

El sistema de control que se encontraba instalado en la máquina para ese entonces, estaba conformado por un conjunto de relés, los cuales eran los encargados de controlar la velocidad y tensión con que se darían a los productos textiles los diferentes acabados.

La máquina consta de dos secciones como se muestra en la figura 1.

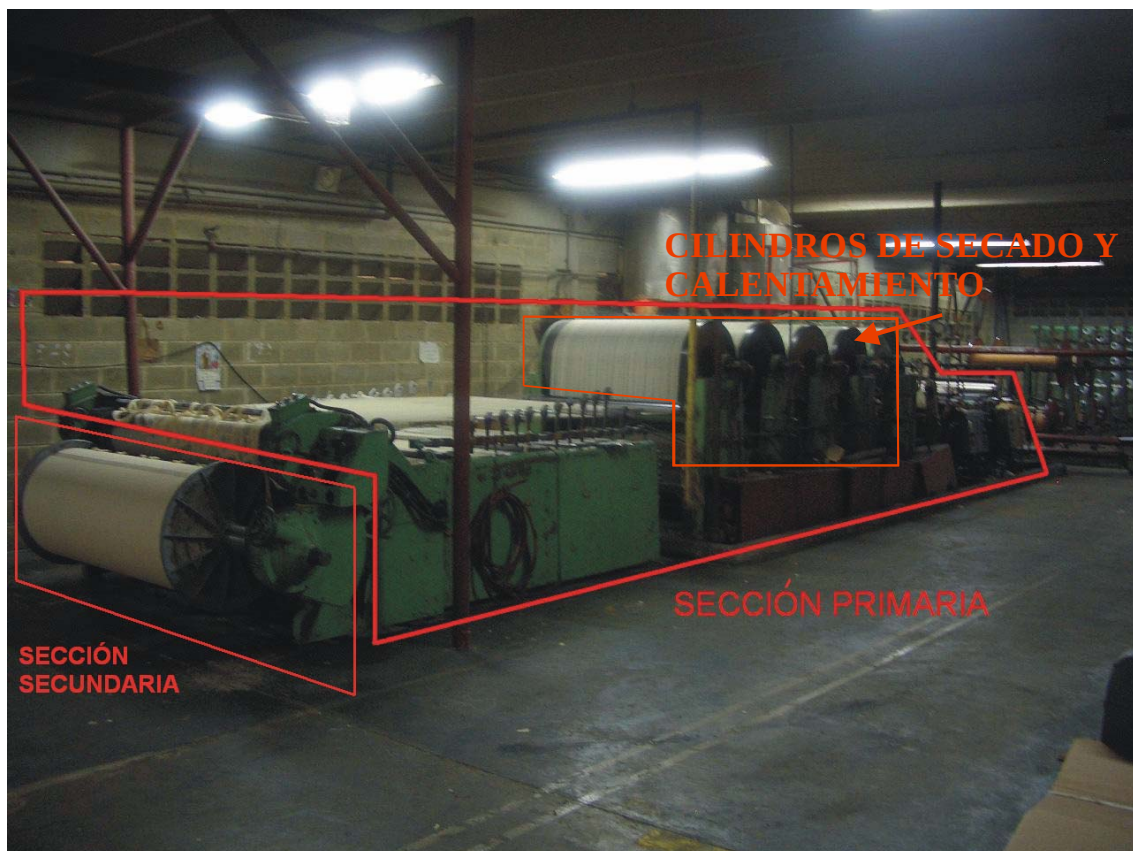


Figura 1. Vista diagonal de la máquina de engomado. (F.SM)

En la sección primaria, se inserta la materia prima, luego se engoma o se le da el acabado en una batea, donde se coloca el producto químico, para luego ser exprimida y tensada por unos rodillos controlados hidráulicamente con el fin de extraer el exceso del tratamiento aplicado, posteriormente es calentada y secada por contacto a través de 9 cilindros metálicos a los cuales se les hace circular en su interior vapor de agua, con el fin de llegar a la temperatura indicada para cada tratamiento. Al salir de estos cilindros, en el caso de hilos, se ordenan a través de un peine para establecer el ancho con que se necesitan los plegadores, así como también

se realiza el peinado de la hilatura con el fin de garantizar una uniformidad de hilos por centímetro en el carrete de enrollado, en el caso de tela no se utiliza el peine.

En la sección secundaria se encuentra el carrete donde será embobinada la materia prima a una tensión específica. Es aquí donde se presenta el problema, es decir, tal como esta configurado el sistema de control no existe la posibilidad de mantener constante la tensión de enrollado.

En realidad se desconoce la metodología de control que era aplicada en la máquina originalmente, ya que en la empresa no existe ningún tipo de información escrita. Aunque conversando con algunos operarios, se conoció que para el ajuste de velocidad y tensión de enrollado era un control manual y para la temperatura, tensado de hilatura, humedad y otras variables contaban con un sistema automatizado.

Luego de muchas horas de uso, se comenzó a notar la fatiga de los dispositivos de control así como también de los motores DC que accionaban a la máquina, para los cuales cada vez se necesitaba de una mayor inversión para su reparación.

Por las razones expuestas anteriormente, la empresa toma la decisión de sustituir todo el sistema de control original, por dos convertidores de frecuencia marca SIEMENS, uno modelo MIDIMASTER para controlar la sección principal y el otro MICROMASTER para la sección secundaria, así como también los motores DC por dos motores de corriente alterna, cada uno con su respectivo sistema de motor reductor; con el fin de aumentar las revoluciones del motor, debido que a velocidades muy pequeñas se sobrecalentaban, ya que la auto ventilación que generaba el aspa, no inyectaba el volumen de aire necesario para mantener la temperatura de funcionamiento.

Al realizar la actualización, no se consideró mantener la tensión de enrollado, mas bien se enfocaron en controlar la velocidad de los motores. Este control se

mantenía de forma manual mediante el empleo de tres potenciómetros conectados como se muestra en la figura 2.

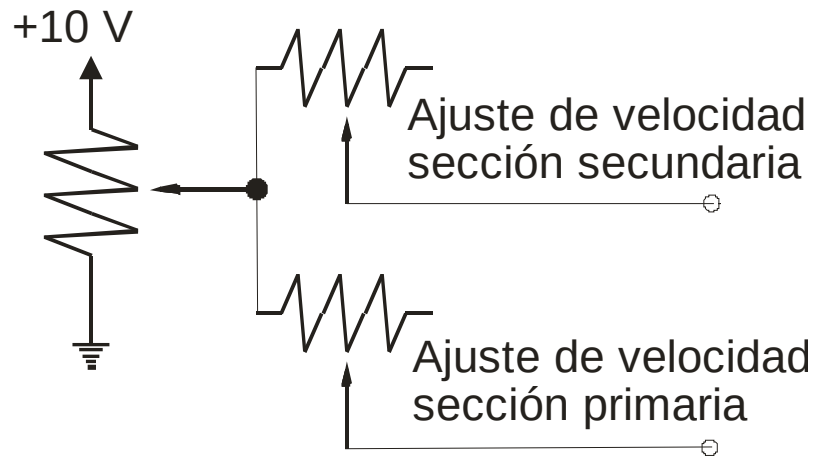


Figura 2. Esquema de control de mando actual.

Mediante el uso del potenciómetro de ajuste de velocidad se colocaba el valor de velocidad con el cual se deseaba trabajar y luego, mediante el empleo de los dos potenciómetros restantes se podía aumentar y disminuir la velocidad de cada convertidor de frecuencia, según las necesidades de tensión de enrollado. Este tipo de procedimiento trajo como consecuencia que era de vital importancia la presencia de un operario que constantemente realizara ajustes en cada uno de los potenciómetros, con el fin de alcanzar el tensado apropiado del producto. A medida que se incrementaba el diámetro del carrete, aumentaba la tensión en la correa que conecta el carrete de enrollado al motor reductor de la sección secundaria, deteriorándose el producto textil y las partes mecánicas de la máquina.

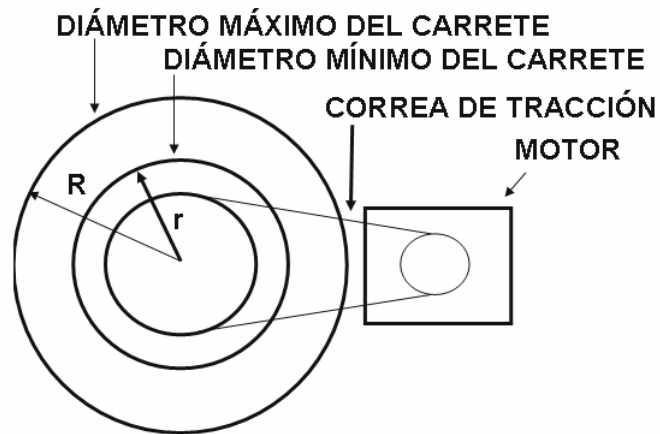


Figura 3. Esquema de tracción sección secundaria.

Como se puede observar en la figura 3, se hace una representación del sistema de tracción de la sección secundaria que se encuentra instalado en la máquina. Debido a que el diámetro del material enrollado sobre el carrete aumenta, ocasiona una variación de la velocidad tangencial del embobinado (ver figura 4.) trayendo como consecuencia una sobre tensión en las piezas mecánicas y en la materia terminada, siendo necesario controlar el tensado. Por tal motivo, se realiza una investigación exhaustiva sobre el problema que existe en la máquina de engomado, observando que al implementar un sistema de control en el funcionamiento de la máquina, se aumentaría el tiempo de vida útil de los motores y del tren de engranajes que conforman la máquina, reduciría las horas hombre empleadas sólo para el control de dicho proceso, así como también se obtendría una mejor calidad en el enrollado y acabado del producto, reduciendo una alta posibilidad de error en el proceso y un alto costo del mismo debido a pérdidas de materia prima.

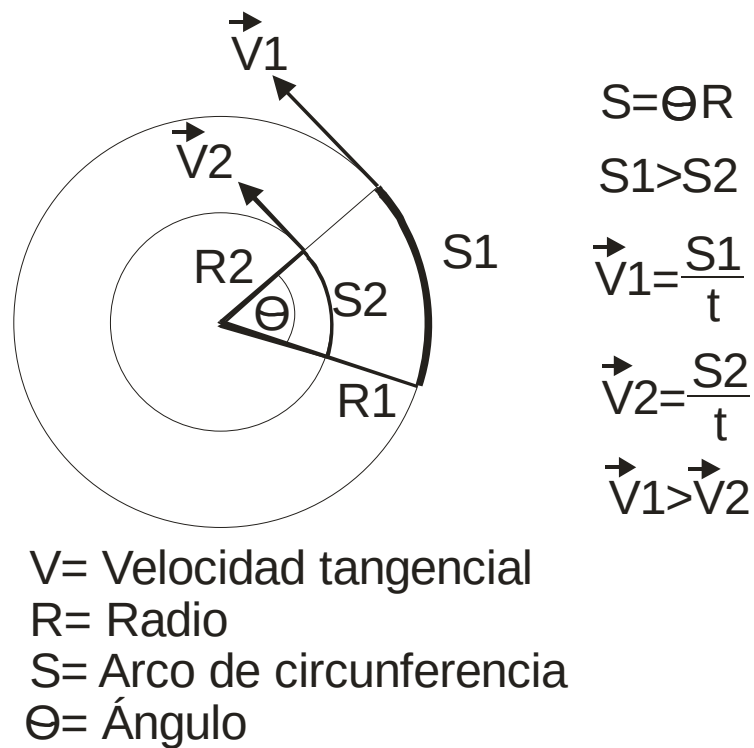


Figura 4. Relación entre el radio de la circunferencia y la velocidad tangencial.

1.2 Objetivo general

Desarrollar un sistema de control para mantener la velocidad tangencial de un carrete de enrollado de textiles, con el fin de garantizar una tensión y velocidad de enrollado constante sin importar la variación del diámetro del carrete, con lo cual se logra una mejora considerable en la calidad del producto así como también una reducción de fallas y fatigas mecánicas en el tren de engranajes de la máquina de engomado.

1.3 Objetivos específicos

- Investigar y estudiar los diferentes sistemas empleados en el control de este proceso en otras máquinas de engomado actualmente.
- Investigar las diferentes unidades de control que se encuentran instaladas en la máquina de engomado.
- Desarrollar una lógica de control para el problema planteado, que de ser posible, incluya los dispositivos de control existentes.
- Especificar posibles soluciones al problema planteado.
- Diseñar un sistema que cumpla con la lógica de control antes mencionada.
- Validar el diseño seleccionado.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1 Convertidores de frecuencia.

Cuando se trata de robustez y economía, el motor de inducción, es uno de los motores eléctricos con más demanda en la industria actual. El campo de aplicación va desde potencias fraccionarias hasta varios cientos de kW. En el caso de una demanda de alta potencia y para ciertas aplicaciones especiales, se puede considerar las posibilidades que ofrecen los motores sincrónicos. En cualquiera de los casos, son máquinas de corriente alterna, que pueden alimentarse directamente desde la red eléctrica y su funcionamiento no presenta dificultades siempre que se desea trabajar a velocidad constante [5].

Si se desea controlar la velocidad o el par mecánico empleando motores de inducción, hoy en día no existe mejor accionamiento, que un convertidor electrónico. Aproximadamente unos diez años atrás el motor de corriente continua era el líder en aplicaciones a velocidad variable y par constante, debido a que los convertidores de frecuencia en ese entonces eran bastante caros, complejos y pocos fiables. Gracias a los avances en la fabricación de semiconductores de potencia y circuitos de control más potentes, esto ha cambiado, ya que se pueden emplear motores de inducción y convertidores de frecuencia en procesos de velocidad variable como lo son: la robótica, equipos de automatización, vehículos eléctricos, turbinas eólicas, propulsión de barcos, entre otras, con una inversión mucho menor a la del motor de corriente continua y con una durabilidad mucho mayor [1].

Los convertidores de frecuencia se construyen generalmente con Tiristores (SCR, SCS, DIAC, TRIAC, etc.) o IGBT (TRANSISTOR BIPOLAR DE PUERTA AISLADA), gobernados por un microprocesador que utiliza un algoritmo de control,

y consisten básicamente en un convertidor estático o directo (alterna-alterna) ó convertidor indirecto (alterna-continua-alterna), que permiten la modificación progresiva de la frecuencia aplicada, con la consiguiente modificación de la corriente y el par motor [2] [3][4][5].

2.1.1 Convertidores directos.

Los convertidores directos, también conocidos como ciclo convertidores, sintetizan una onda de menor frecuencia a partir de una alimentación polifásica de mayor frecuencia, conectando sucesivamente los terminales del motor a las distintas fases de la alimentación. Dicha onda sintetizada es rica en armónicos y en algunos casos el circuito puede generar subarmónicos que podrían llegar a producir problemas si generaran alguna resonancia mecánica del sistema. La ventaja de este tipo de convertidores es que pueden utilizar tiristores de mayor potencia, aunque son relativamente lentos trabajando en conmutación natural. Por otro lado, el ciclo convertidor ofrece una transformación simple de energía de buen rendimiento, permite la inversión del flujo de potencia para la regeneración y la transmisión de la corriente reactiva; proporcionando una gama de frecuencias de trabajo que va desde valores cercanos a cero hasta casi la mitad de la frecuencia de alimentación, con fácil inversión de fase con el fin de invertir el sentido de giro. Este tipo de convertidores son muy complicados, ya que pueden necesitar 18, 36 o más tiristores para conectar las entradas a las salidas de todas las formas posibles. En ciertos casos este tipo de convertidor se emplea en motores asincrónicos de rotor bobinado con alimentación doble, estando el estator conectado a la red y el rotor al convertidor ó cuando la velocidad en el motor es lenta y la potencia a entregar es muy elevada [5][6][7].

2.1.2 Convertidores indirectos.

Los convertidores más habituales son los indirectos o también conocido como convertidor de enlace y este a su vez se subdivide en Convertidores de fuente de voltaje (Voltage Source Inverter o VSI) y Convertidores de fuente de corriente (Current Source Inverter o CSI) [6][5]. En el convertidor de enlace la alimentación de la red de corriente alterna se rectifica en forma controlada y luego alternativamente se conmutan las fases del motor al positivo y al negativo de la onda rectificada, de manera de crear una onda de corriente alterna de otra frecuencia. Aunque la onda de tensión obtenida no es sinusoidal, la onda de corriente tiende a serlo por efecto de las inductancias presentes. Además, de este modo se obtiene una amplia gama de frecuencias por encima y por debajo de la correspondiente al suministro. Este tipo de convertidores (ver figura 5.) básicamente está compuesto por un módulo rectificador que transforma la tensión alterna de entrada en tensión continua, esta corriente continua es convertida en corriente alterna, de frecuencia y tensión deseada, por el módulo inversor mediante dos técnicas de modulación: Modulación por el valor de amplitud del pulso (Pulse Amplitude Modulation o PAM) y Modulación por ancho de pulso (Pulse Width Modulation o PWM). Poseen protecciones contra asimetría, falla de tiristores, sobretensión y sobrecarga; además de vigilancia del tiempo de arranque con limitación de la corriente, control de servicio con inversión de marcha, optimización del factor de potencia a carga parcial, maximización del ahorro de energía durante el proceso [4][5][6][7][8].

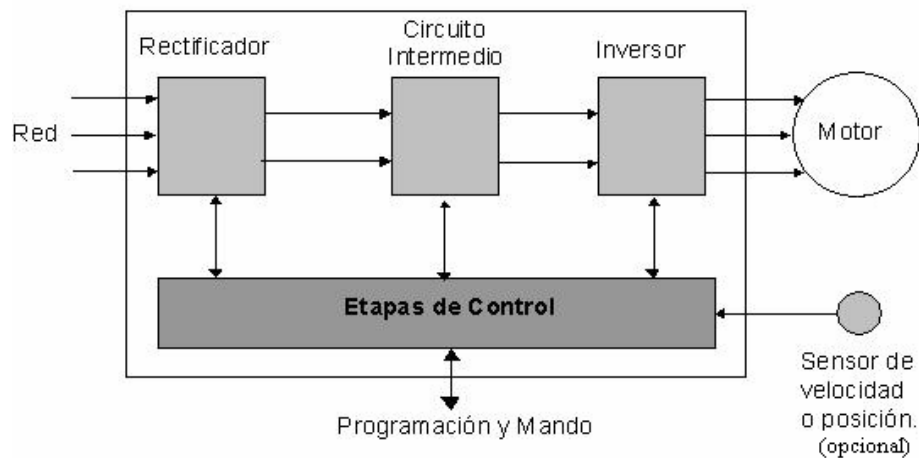


Figura 5. Diagrama de bloques que conforman un convertidor de frecuencia [5].

Cuando se tiene aplicaciones en las industrias donde desean valores estables del par, sin muchos requerimientos sobre la velocidad, el control a lazo abierto del motor de inducción a frecuencia variable es bastante satisfactorio. Cuando los requerimientos del accionamiento necesitan de una respuesta dinámica más rápida, con gran exactitud en la velocidad o en el control del par, el control a lazo abierto no brinda esta posibilidad. Por tal motivo se hace necesario operar el motor a lazo cerrado [5][6][8][9].

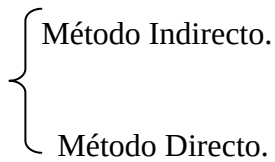
Como sabemos el par depende del flujo del entrehierro y de la velocidad del motor, hecho este que complica el diseño del sistema de control en los motores de inducción, no siendo así en su contra parte, el motor de corriente directa, donde el conmutador permite un control independiente del flujo y del par, restringiendo la potencia y velocidad del motor, aumenta la inercia, la longitud axial y necesita mantenimiento periódico [5][6][8].

En la actualidad existen dos técnicas de control que emplean los convertidores de frecuencia, como lo son:

A) Control Escalar:

- Control Voltaje - Frecuencia (V/F).
- Control de la corriente del estator y de la frecuencia del deslizamiento o simplemente Control del Deslizamiento.

B) Control Vectorial:

- Control por Campo Orientado (FOC) 
- Control sin Sensores. (Sensorless).
- Control Directo del Par. (DTC).

2.2 Control Escalar.

2.2.1 Control Voltaje - Frecuencia (V/F)

Las técnicas de control V/F están basadas en los modelos estáticos del motor de inducción para la operación a flujo constante. Con el fin de generar la mayor relación posible de par por ampere en la corriente del estator, y de aquí la mejor utilización de la capacidad de corriente que pueda entregar el accionamiento, el flujo debe permanecer constante y cercano a su valor nominal sin importar que las condiciones de operación no sean constantes. Con el fin de trabajar a flujo constante, para cada condición de operación se pueden ajustar dos parámetros controlables, como lo son la amplitud y frecuencia del voltaje de alimentación [5] [6] [7].

Con este tipo de control la relación entre la magnitud del voltaje y la frecuencia (V/F) se conoce como ley de mando [5]. Los fabricantes de los primeros convertidores que emplearon dicha técnica de control se dieron cuenta que sólo permitían un margen muy limitado de velocidades, ya que al mantener constante la relación V/F no tomaron en cuenta que los devanados también tienen resistencia

óhmica, que no varía con la frecuencia. Trayendo como consecuencia que a bajas frecuencias disminuye el par. Con el fin de solucionar este inconveniente, se aumenta la tensión a bajas frecuencias ó de forma proporcional al consumo y a la resistencia de los devanados. En el caso de los ventiladores y las bombas centrífugas solo se necesita el par a bajas velocidades, por lo que generalmente se reduce la tensión para consumir menos energía. Muchos inversores permiten seleccionar la relación entre la tensión y la frecuencia según sea la carga mecánica [5] [6] [8] [9].

2.2.2 Control de la corriente del estator y de la frecuencia del deslizamiento o simplemente Control del Deslizamiento.

En el control del deslizamiento, las referencias trifásicas de corriente, se comparan con los valores instantáneos de las corrientes del motor, y el error medido entre estos valores, es la entrada a los Reguladores de Corriente y Generación de PWM (ver figura 6.). La amplitud de la referencia de corriente se obtienen a través del bloque Generador de Funciones y la frecuencia se obtiene de la adición de la señal de frecuencia del rotor, la cual es obtenida mediante la medición de la velocidad con un encoder, y la señal de la frecuencia del deslizamiento. En el caso de la frecuencia del deslizamiento esta se obtiene en la salida del regulador de velocidad o a través de una tabla con los valores optimizados del deslizamiento, en el caso de accionamientos con control del par. Los Reguladores de Corriente y Generación de PWM suelen ser reguladores proporcionales integrales (PI) con comparación con rampa, aunque también se pueden utilizar otras técnicas de regulación. Este lazo intermedio de corriente, que usualmente debe de tener un ancho de banda grande, hace que el inversor se comporte como fuente de corriente, siendo la técnica de modulación PWM utilizada en los convertidores por voltaje. En este caso se dice que el inversor está trabajando en modo de control de corriente CCM (Current Control Mode), también se conoce con el nombre de inversor PWM regulado por corriente CRPWM (Current Regulated Pulse Width Modulation) [5] [6] [7] [8] [9].

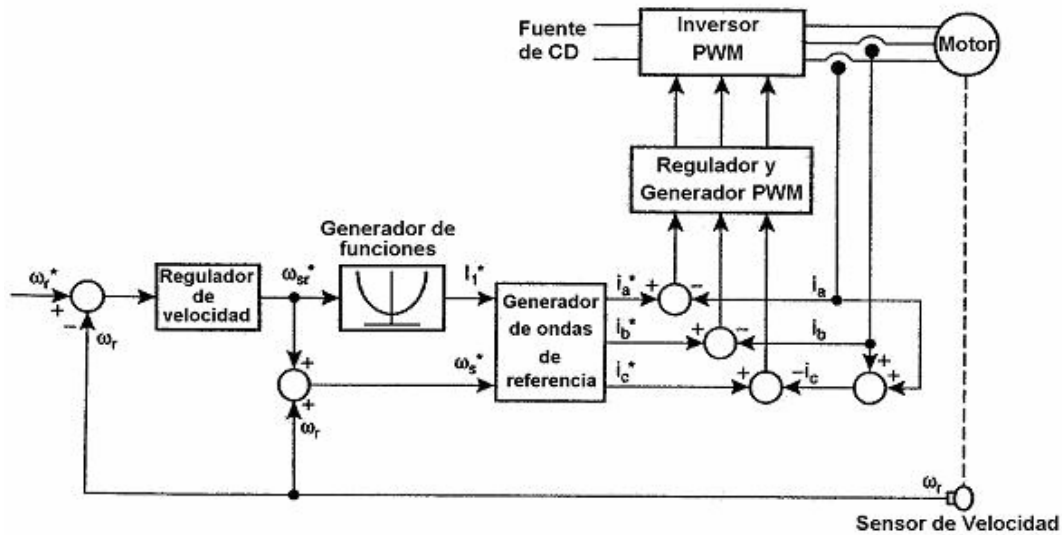


Figura 6. Inversor CRPWM con control de la frecuencia del deslizamiento [5].

2.3 Control Vectorial.

La estrategia de control vectorial consiste en extrapolar la técnica de control de motores de corriente continua al ámbito de los motores de inducción. Para ello, y debido a que una máquina de corriente alterna carece de dos bobinados desacoplados, se recurre al modelo de referenciar el sistema trifásico alterno de corrientes estáticas a un sistema de coordenadas no estacionario que gira sincrónicamente con el campo magnético rotórico. En este nuevo sistema de referencia, las corrientes estáticas son tratadas como vectores rotantes, de ahí el nombre de control vectorial o control de campo orientado [1] [2] [3] [4] [5] [6] [7] [8].

2.3.1 Control por Campo Orientado (FOC).

Cuando la orientación del flujo se refiere al flujo del rotor se le conoce como Control Vectorial por Campo Orientado o Control Desacoplado. El control vectorial ha hecho posible el empleo de motores de inducción en aplicaciones de alta

prestaciones, que se podían lograr hasta entonces, con motores de corriente directa. En el caso del motor de corriente directa, se logra un control independiente del flujo y del par, el control vectorial regula la componente de la corriente que tiene que ver con el par y con la del flujo. Al descomponer este vector, una de ellas es colineal con el campo rotórico denominada normalmente I_d y la otra esta desfasada (90°), denominada normalmente I_q [11]. La primera resulta ser responsable del flujo magnético de la máquina y se le denomina CORRIENTE DE MAGNETIZACION y la segunda es la encargada de generar el par motriz y se le denomina CORRIENTE ACTIVA. A través de esta transformación de coordenadas resulta entonces posible desacoplar el modelo matemático de la máquina de inducción y controlar estas componentes en forma independiente de la misma manera que en un motor de corriente continua se controlan las corrientes de campo y armadura [1][2][3][4][5][6][7][8][9][10][11].

Existen dos metodologías de control de campo orientado las cuales son:

El método directo en donde la generación del vector de corriente, depende de las señales de flujo del estator o del entrehierro. El flujo del entrehierro se puede determinar de forma directa a través de sensores de efecto Hall o puede ser estimando de forma indirecta, mediante los valores de voltaje y corrientes del estator. Las componentes del flujo del estator se pueden calcular directamente a través de sus magnitudes. En este método la velocidad del rotor no es necesaria para obtener la información del ángulo espacial del campo o flujo del rotor, dicho ángulo también se conoce como ángulo de desacoplo [5].

El método indirecto es más simple de implementar, debido a que no es necesario medir o estimar el vector de flujo. El vector de la corriente se calcula con la medición de la velocidad del rotor, y con el valor de las referencias de flujo y par se determina la frecuencia del deslizamiento [5].

De hecho el sistema de Control Vectorial puede estar orientado al flujo del estator o también al flujo del entrehierro [5].

2.3.2 Control Vectorial con Sensores. [5] [6] [8] [9] [10] [11]

Para poder ejecutar las rutinas de transformación de coordenadas mencionadas en la sección anterior, es necesario conocer el ángulo desarrollado por el rotor, esto se logra mediante un encoder o taco generador que registra este ángulo continuamente, esta técnica se conoce como control vectorial a lazo cerrado. Dicho sensor de velocidad presenta varias desventajas tales como lo son: el costo de adquisición, la confiabilidad y la inmunidad al ruido. Existen diversas aplicaciones que requieren controlar el par, por ejemplo aplicaciones en medios de transporte vertical como grúas y ascensores, también otros dispositivos industriales como son bobinadores, debobinadores, tractores de material, etc.

Dadas las alinealidades del motor asincrónico cuando gira a baja velocidad, la realización de los cálculos vectoriales requiere el uso de microprocesadores de mayor capacidad de cálculos y software más complejo. En el estado actual, es aun más económico realizar la medición de la posición del rotor en lugar de calcularla a través de algoritmos en el microprocesador.

Por lo tanto, para el control del par en toda la gama de velocidad (aún detenido) los convertidores incorporan la medición a través de un transductor de la posición del rotor. Los elementos más comunes utilizados actualmente, debido a su costo y simplicidad, son los encoders incrementales.

2.3.3 Control Vectorial sin sensor (SENSORLESS) [5] [6] [8] [9] [10] [11].

Suponiendo al motor eléctrico con un rotor compuesto por un imán asociado montado en el eje del rotor, de forma que al acercarse otro imán (construido por el convertidor a través del bobinado de estator) la repulsión entre ambos imanes genera el movimiento del eje, comprenderemos inmediatamente que el imán construido a través del estator deberá en todo momento tener la posición y la magnitud adecuadas para asegurar la rotación correcta del motor en cualquier estado de la carga.

La forma de construir ese imán de estator, por así denominarlo, es a través de crear un vector de flujo magnético en el entrehierro del motor o sea que el circuito de salida del convertidor debe generar en todo instante una onda de salida en tensión y frecuencia para dicho fin.

El proceso se conoce como modulación vectorial de etapa de salida del convertidor a partir de cálculos realizados en la etapa de control por el microprocesador del convertidor. Es por ello que se conoce como control vectorial sin sensor ya que dichos cálculos consisten, entre otros, en determinar la posición del rotor del motor (posición teórica del imán de rotor) y de la magnitud de su flujo a partir de medir las corrientes en el motor y de conocer datos característicos del motor utilizado. Estos últimos son incorporados por el operador al cargar los datos del motor requeridos durante la programación del convertidor en la puesta en marcha y por un proceso de auto sintonía del motor realizada automáticamente por el convertidor.

Debe reflexionarse sobre el hecho de que al cargar valores característicos del motor (velocidad, factor de potencia, tensión, etc.) en realidad estamos informando al convertidor los valores que serán utilizados en los algoritmos de control. Valores inexactos o supuestos incorrectos pueden ocasionar un funcionamiento erróneo del convertidor como por ejemplo una respuesta dinámica no deseada.

Por este método, que utiliza los microprocesadores se logra un excelente control del par desde la velocidad nominal del motor hasta una velocidad de aproximadamente el 1% de dicha velocidad.

Cuando se emplea el control en lazo abierto con compensación del deslizamiento la velocidad sincrónica del motor se regula, mientras que la frecuencia del deslizamiento se utiliza solamente para compensar los cambios de la carga.

2.3.4 Control Directo del Par (DTC)

Para el control directo de par DTC (DIRECT TORQUE CONTROL) (ver figura 7) la principal diferencia con respecto a los otros métodos de control vectorial explicados anteriormente, es que el DTC no posee un modulador PWM separado, sino que la posición de los interruptores del convertidor de potencia es determinada de forma directa por el estado electromagnético del motor. El control directo de par, permite una respuesta dinámica mucho más rápida, que inclusive puede llegar a duplicar las prestaciones de los esquemas de control vectorial anteriores.

El DTC se considera como una estrategia de control alternativa al control vectorial por ofrecer algunas ventajas frente al campo orientado que se resumen en los puntos siguientes:

- La estructura de control es mas sencilla, solo requiere dos comparadores de histéresis y un controlador de velocidad.
- Solo se necesita un modelo sencillo del motor de inducción.
- Tiene un comportamiento robusto contra la variación de los parámetros.
- No se requiere transformación de coordenadas, solo se utilizan las variables reales de las corrientes y las tensiones en el sistema de referencia estacionario.

- Ofrece una respuesta dinámica muy alta, regulándose directamente tanto el par como el flujo de manera separada.

Una de las limitaciones del DTC es su dependencia de la resistencia del estator para determinar el flujo estatórico. La variación de la resistencia debido al cambio de temperatura empeora el comportamiento del accionamiento, sobre todo a baja velocidad donde la caída de la tensión a través de la resistencia constituye una parte importante del voltaje aplicado al motor [5] [6] [9].

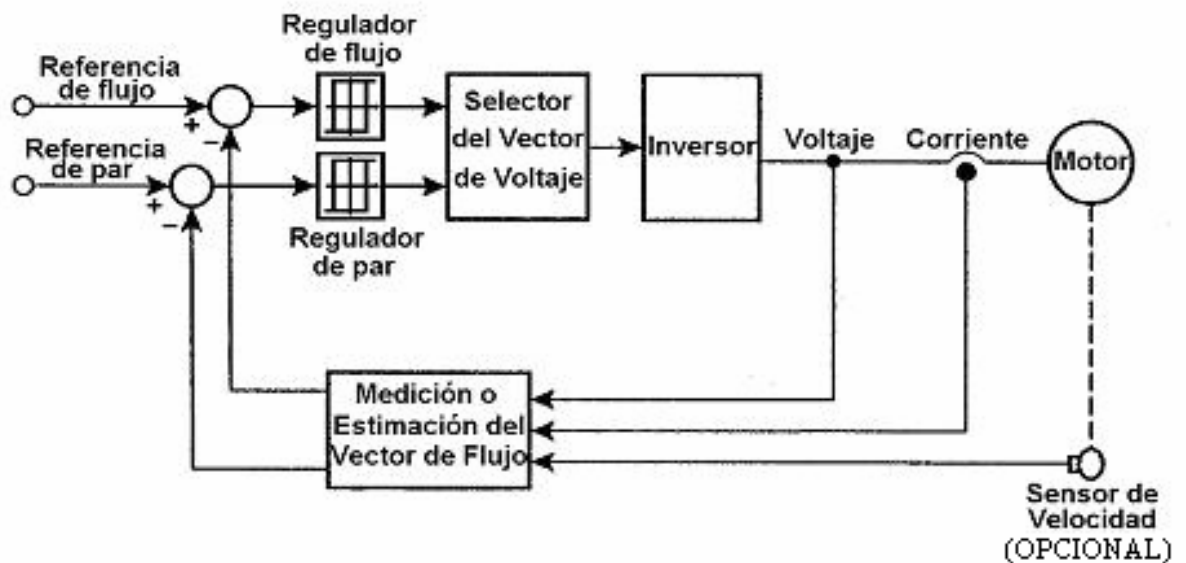


Figura 7. Control Directo del Par y Control Vectorial del Flujo del Estator [5].

CAPÍTULO III. CARACTERÍSTICAS DE LA MÁQUINA DE ENGOMADO Y POSIBLES SOLUCIONES AL PROBLEMA PLANTEADO.

3.1 Características de la máquina de engomado:

- Tensión de alimentación: 220 – 240 V, 60Hz
- Empleo de vapor para el calentamiento de rodillos.
- Empleo de aire comprimido para presión entre rodillos.
- Consta de dos secciones: sección primaria y sección secundaria

La sección primaria consta de:

Accionamiento:

- Un motor de inducción de 230 V, trifásico, de 7,5 hp, 25 A.
- Un motor reductor mecánico variable continuo.

Sistema de control:

- Convertidor de frecuencia marca Siemens modelo MIDIMASTER MDV750/2, de 3 FASES, 208-240 V +/- 10%, con una potencia nominal de 10 hp. Posee 6 entradas digitales, 2 entradas analógicas, 1 salida analógica y 2 salidas a relé, programación por ajuste de fábrica: Control Escalar. [ver anexo A]

La sección secundaria consta de:

Accionamiento:

- Un motor inducción de 230 V, trifásico, de 15 hp con una eficiencia de 86,3%, 36 A.
- Un motor reductor de engranajes cilíndricos.

Sistema de control:

- Convertidor de frecuencia marca siemens modelo MICROMASTER 440, de 3 fases, 200-240 V $\pm$ 10%, con una capacidad de potencia de 0,12 a 15 kW (0,16 a 20 HP), control interno PID con auto sintonía,

control vectorial, control de flujo de corriente y parametrización de la característica de voltaje y frecuencia. Posee 6 entradas digitales, 2 analógicas y 1 para PTC, también posee 2 salidas analógicas y 3 salidas a relé. Compatible con PLC SIMATIC S7-200, SIMATIC Y SIMOTION. Programación por ajustes de fábrica: Control Escalar. [ver Anexo B]

3.2 Pruebas realizadas a la máquina para diagnosticar la posible solución.

Se realizaron mediciones de consumo de corriente de cada uno de los motores que conforman la máquina, con el fin de estudiar y analizar las variables que influyen en el proceso, sin importar el tipo de material al cual se le este dando el acabado.

Tabla 1. Corriente consumida por cada motor de la máquina de engomado.

Diámetro de la bobina en (%)	Sección primaria MIDIMASTER (A)	Sección secundaria MICROMASTER (A)
10	13,85	10,00 – 26,00
20	14,2	11,5 – 37,00
30	14,2	9,3 – 35,00
40	13,8	11,00 – 12,00
50	13,6	11,4 – 13,00
60	14,2	12,5 – 14,00
70	15,9	11,3 – 12,9
80	14,9	11,6 – 21,6
90	13,8	11,2 – 18,00
100	13,7	10,8 – 12,4

Las mediciones mostradas en la tabla 1 fueron tomadas directamente en cada uno de los convertidores, teniendo en cuenta que algunas lecturas en cada convertidor de frecuencia se tomaron en puntos críticos, es decir en el momento de arranque del proceso, posteriormente en función del diámetro expresado en porcentaje de la bobina. Como se observa en esta tabla, para un diámetro menor del carrete de enrollado era necesario mayor corriente por ende era mayor la velocidad y a medida que aumentaba el diámetro el operario fue disminuyendo la velocidad con el fin de disminuir la tensión de enrollado. La figura 8 muestra una gráfica con el fin de observar el punto de estabilidad en donde el sincronismo entre la velocidad de las dos secciones de la máquina es la óptima.

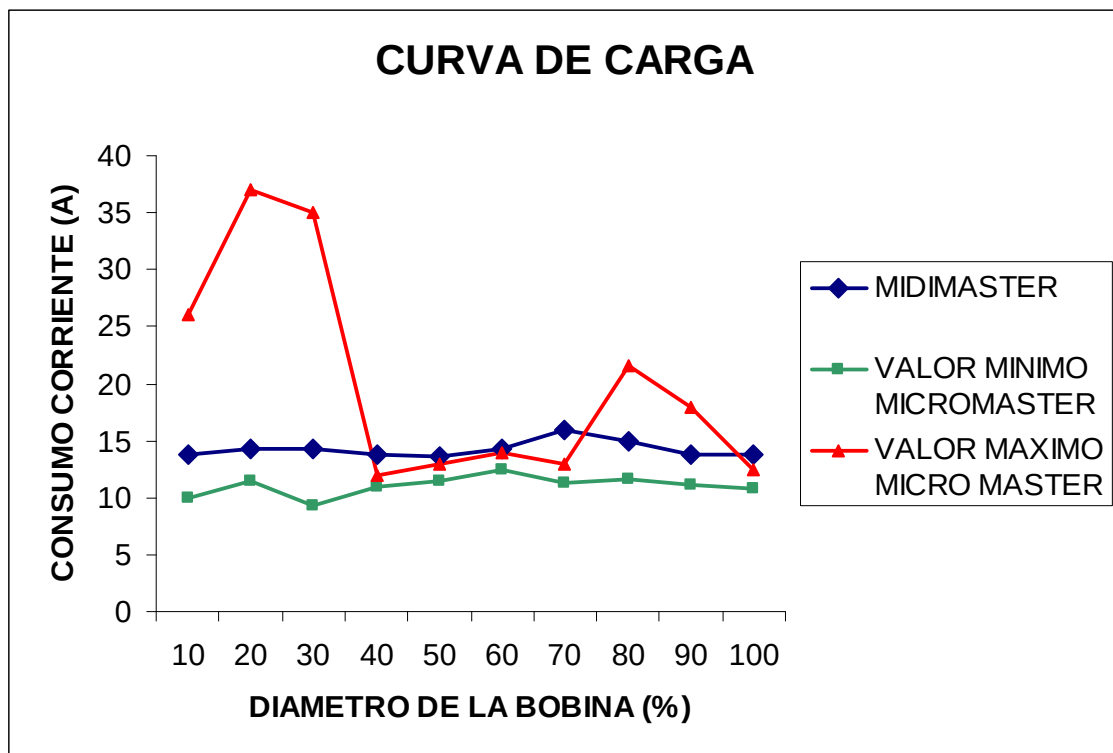


Figura 8. Curva de carga en cada motor.

Como se aprecia en la figura 8, observamos que el convertidor de la sección secundaria (Micromaster 440) presenta unas fluctuaciones de la corriente de hasta un 100% del valor inicial que está entregando al motor, esto se debe a que mientras el convertidor trata de mantener la velocidad indicada por el operario es necesario el

empleo de mas corriente con el fin de contrarrestar la fuerza aplicada por la sección primaria de la máquina al mantener la misma velocidad lineal. Debido a estos cambios bruscos en la corriente de alimentación del motor de la sección secundaria, el convertidor de frecuencia de esta sección presentaba unas fallas de sobrecarga y consumo excesivo de corriente, dichos fallos son indicados en la pantalla que posee el convertidor. Se presume que debido a este tipo de fallas el convertidor que se encontraba instalado en esta sección se deterioró en un tiempo menor al establecido de tiempo de vida útil, por lo tanto en el año 2002 fue necesario adquirir otro variador con las mismas características para ser instalado en la sección secundaria. Como se puede notar en la figura 8, que cuando el diámetro del carrete está entre el cuarenta y setenta por ciento, los valores de corriente que entrega cada convertidor son muy similares, debe resaltarse que en este rango se apreció el mejor funcionamiento de la máquina, alcanzándose una velocidad y tensión óptima de enrollado. Cabe destacar que este sincronismo se lograba con repetidos ajustes en los potenciómetros mostrados en la figura 2.

Luego de realizar el levantamiento de información de esta máquina de engomado, se investigó cuales son los controles que actualmente son usados en este tipo de procesos, ya sean de embobinados de textiles como de papel y plástico. Con el fin de determinar de forma precisa el tipo de control empleado, se consultó al fabricante de la máquina, que actualmente fabrica engomadoras similares a la que se esta empleando en el desarrollo de este trabajo, encontramos que ellos ofrecen dos tipos de máquinas las cuales poseen en la sección primaria un control AC es decir motor de corriente alterna y en la sección secundaria se le instala un motor DC [13], (este tipo de configuración tiene un costo mayor, ya que los equipos de control en corriente directa son mas costosos que los equipos en corriente alterna) o en su defecto el fabricante menciona la posibilidad de sustituir el sistema de control de corriente directa de la sección secundaria por uno de corriente alterna, este tipo de cambios reduce el costo en los dispositivos instalados. También en la industria papeleria y del plástico en la parte de embobinado se suele emplear motores de

corriente continua ya que es mucho mas fácil mantener la tensión de enrollado sin deteriorar el material [14] [15], debido a que es mucho mas vulnerable a deformaciones, en el caso de textiles los materiales son capaces de soportar mas tensión.

Es por esta razón que la solución al problema planteado por la empresa es más complicada de lo que se esperaba, ya que la tensión y velocidad de enrollado de cada material varía según sean las necesidades.

Tomando en cuenta todos los puntos antes expuestos, se comenzó a investigar las posibles soluciones, es importante mencionar que estos planteamientos se realizaron de forma puntual, es decir que el objetivo primordial es mejorar el funcionamiento de la máquina y posteriormente se desarrollara la integración entre la solución planteada y el sistema de control que actualmente se encuentra en la máquina instalado.

3.3 Posibles soluciones al problema planteado.

A continuación se menciona y se realiza una breve descripción de las diferentes soluciones posibles, junto con su diagrama de instalación, teniendo en cuenta siempre el problema planteado en el Capítulo 1.

3.3.1 Empleo de un potenciómetro que mida el diámetro del carrete de enrollado.

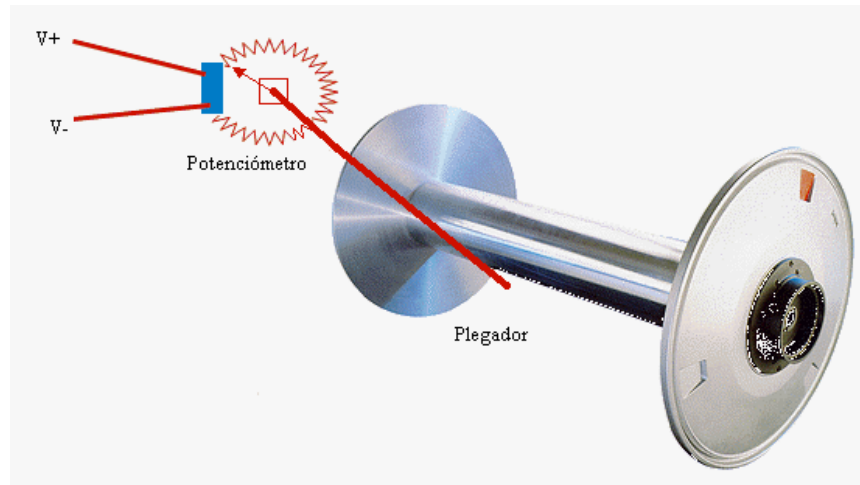


Figura 9.Representación física de instalación del potenciómetro.

Como podemos apreciar en la figura 9 mediante el uso de un potenciómetro y brazo o palanca con su respectiva base y tope de fin de carrera, se hace contacto directo con el carrete con el fin de medir el diámetro del carrete mediante la lectura del potenciómetro, este tipo de medición es de forma indirecta, ya que es necesario calibrar la lectura efectuada sobre el potenciómetro con respecto al diámetro mínimo y máximo del carrete. Este tipo de sistema es uno de los más comunes que se emplea en el campo laboral, ya que es de fácil implementación y de muy bajo costo comparado con otros sistemas.

El modo de operación sería mediante un dispositivo como un PLC o relé programable el cual haga la lectura, esta debe ser adaptada a las necesidades del sistema de control con el fin de indicarle al convertidor de frecuencia que a un diámetro menor mantenga la velocidad inicial y al aumentar el mismo vaya disminuyendo la velocidad. Para eso se debe realizar un estudio de la relación de la variación de velocidad en función del diámetro. Este tipo de sistema presenta un

desventaja, ya que el potenciómetro estaría ubicado en la parte posterior del carrete de enrollado, y es muy vulnerable a malos tratos debido a su proximidad al sitio de trabajo, es decir, cualquier contacto forzado cuando se manipule el carrete de enrollado puede alterar el brazo o palanca, ocasionando un error en la medición (ver Figura 10).



Figura 10. Área cercana al carrete de enrollado.

3.3.2 Mediante el uso de un cuenta vueltas con salida analógica o digital.

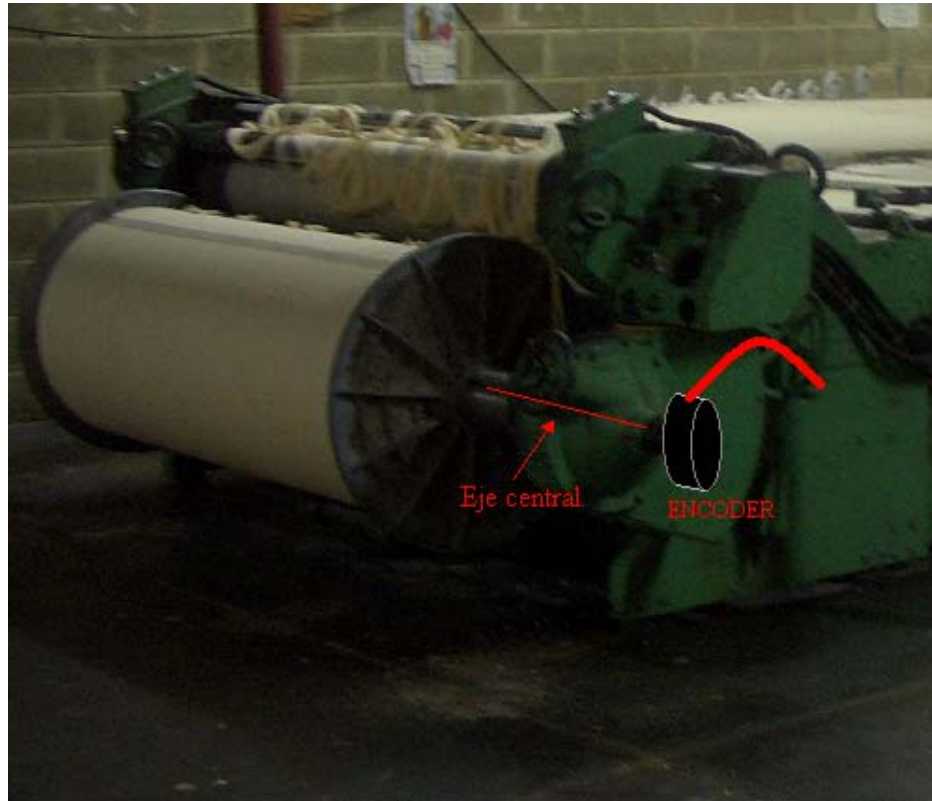


Figura 11. Instalación de un encoder en el eje del carrete de enrollado.

Como se aprecia en la figura 11 si adaptamos al eje central del carrete un dispositivo que cuente las vueltas, se podría lograr un control de forma indirecta sobre la velocidad del carrete de enrollado, en este tipo de aplicaciones es necesario tener pleno conocimiento del material que se va a enrollar, ya que dependiendo del espesor del material junto con una tabla comparativa se podría controlar la velocidad del variador.

Si el material que se empleará en el proceso siempre mantiene sus características físicas, se podría realizar una tabla comparativa, que a través de un PLC programado se le indique al convertidor, en un número determinado de vueltas la velocidad que debe tener el motor. En este tipo de sistema la desventaja que se

apreció al momento del planteamiento, es que se restringe el uso de la máquina para un determinado producto, es decir, que si las características físicas del material empleado varían el sistema de control diseñado podría fallar.

En el caso de la industria textil, al emplear un dispositivo que cuente las vueltas, no se garantiza la cantidad de metros o material enrollado, ya que depende del espesor del producto a enrollar, como es el caso entre tela e hilo, donde cada uno posee un espesor diferente. Como se aprecia en la figura 12 el hilo que conforma la tela tiene un espesor dado, al realizarse la distribución de varios hilos con el fin de constituir el tejido, se puede llegar a duplicar o triplicar el espesor con el que queda construida la tela. Por esta razón al emplear el cuenta vueltas en este sistema de control, se estaría realizando una medición de forma referencial, mas no precisa.

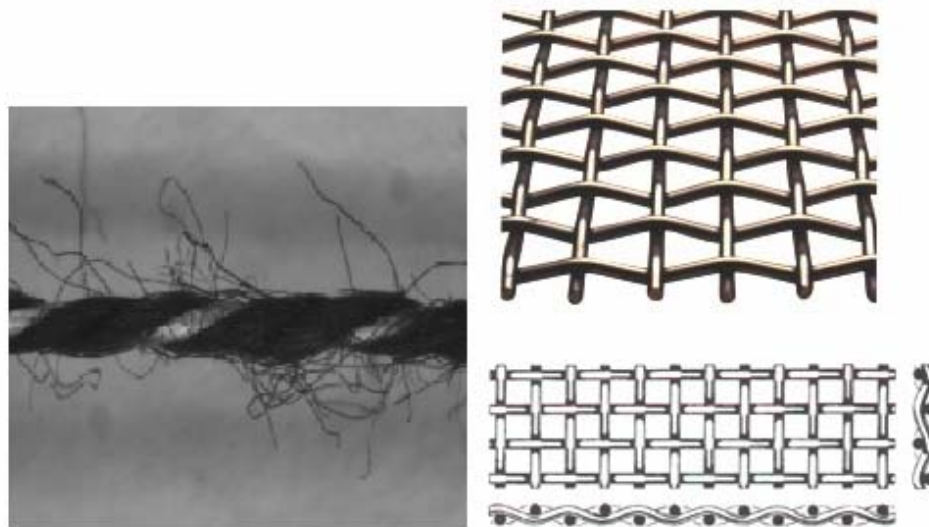


Figura 12. Constitución física de la tela.

Por tal motivo, para un mismo número de vueltas del carrete, en el caso de tela el diámetro aumenta mucho más rápido que si fuera con hilo. A continuación se muestra una representación entre los dos tipos de material enrollado (ver figura 13).

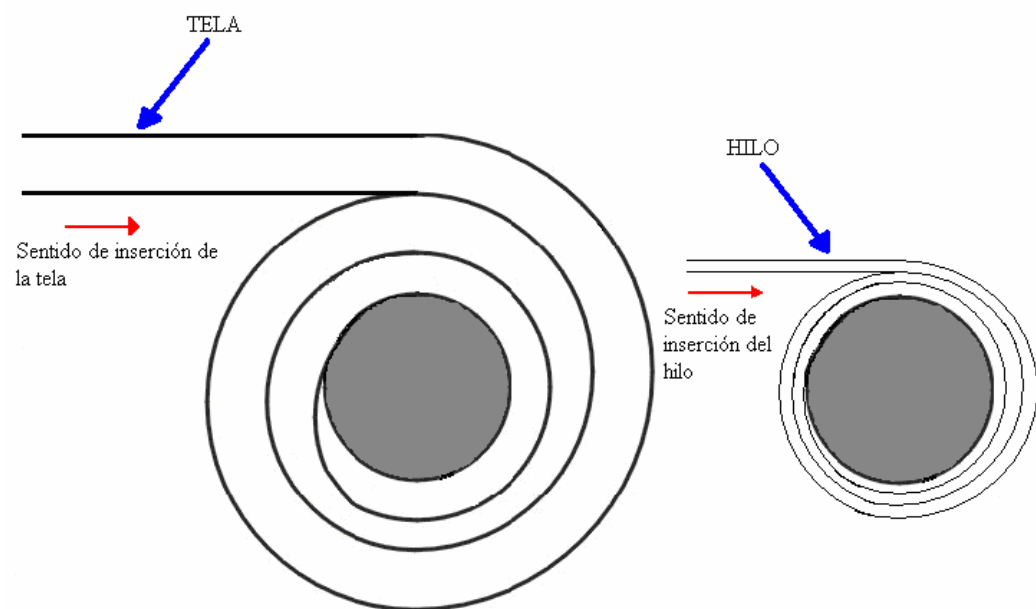


Figura 13. Vista lateral del carrete de enrollado cuando tiene tela e hilo.

3.3.2 Detectar la presión ejercida por el material a enrollar sobre un rodillo, empleando micro galgas.

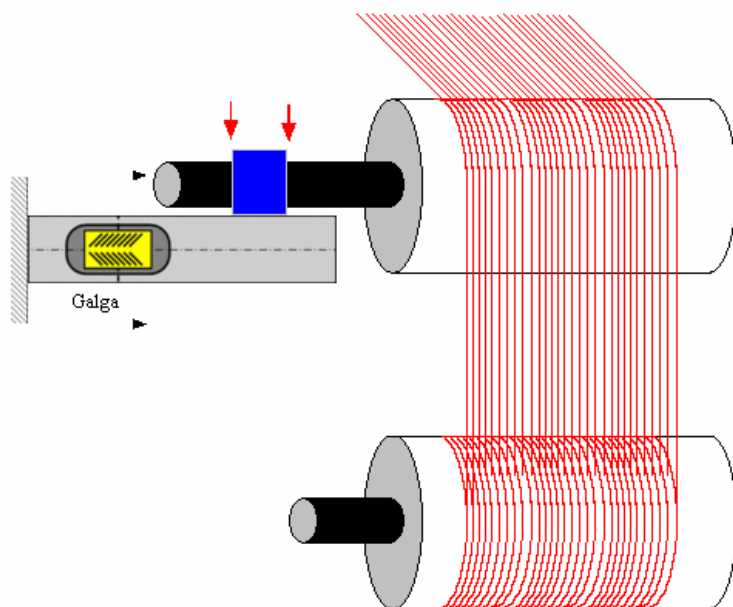


Figura 14. Esquema de posible instalación de galgas sobre la base de un rodillo.

Podemos apreciar en la figura 14 la representación de cómo sería la instalación de galgas o micro galgas, con el fin de determinar la presión ejercida por el diámetro del carrete de enrollado sobre el cilindro que alimenta de materia prima a dicho carrete de enrollado. Estas galgas se instalarían sobre la base donde descansa el rodillo, la función de este rodillo es la de transmitir la tensión aplicada a la materia prima sobre la galga.

El funcionamiento de este sistema se describe a continuación, si se mantiene la velocidad angular del carrete de enrollado y aumenta el diámetro del mismo, la tensión ejercida sobre el producto a enrollar aumenta, debido a que se requiere de mas metros de materia prima por minuto, por ende, a través de estas galgas se podría medir la tensión del producto y a través de un controlador lógico programable se podría aumentar o disminuir la velocidad angular del carrete de enrollado con el fin de mantener dicha tensión en el rango previsto.

Este tipo de sistema obtuvo muy buena aceptación por parte de la empresa, ya que no se requiere especificar el tipo de materia prima a emplear, no depende de la velocidad que se le quiera dar al proceso y mide de forma directa la tensión a la cual estaría sometido el producto textil (Tela o hilo). A pesar de que es el método indicado para determinar la tensión ejercida sobre el producto, se tomaron en cuenta varias consideraciones. Como se observa en la figura 15 el espacio donde se deberían instalar estas galgas es muy reducido, por tal motivo era necesario la adaptación y mecanizado de un nuevo sistema de soporte para el rodillo indicado en la figura. Por otra parte, como se aprecia en la figura existen nudos que se producen debido al empate entre fajas de hilos o telas, este tipo de nudos siempre se originan al iniciar y finalizar el carrete de enrollado, cuando estos nudos provienen de la sección primaria en dirección a la sección secundaria, es necesario subir el cilindro indicado ya que se puede deteriorar el cilindro así como también el material textil debido al cambio brusco del volumen de materia prima.

CILINDRO QUE ESTARIA APOYADO SOBRE LAS MICROGALGAS

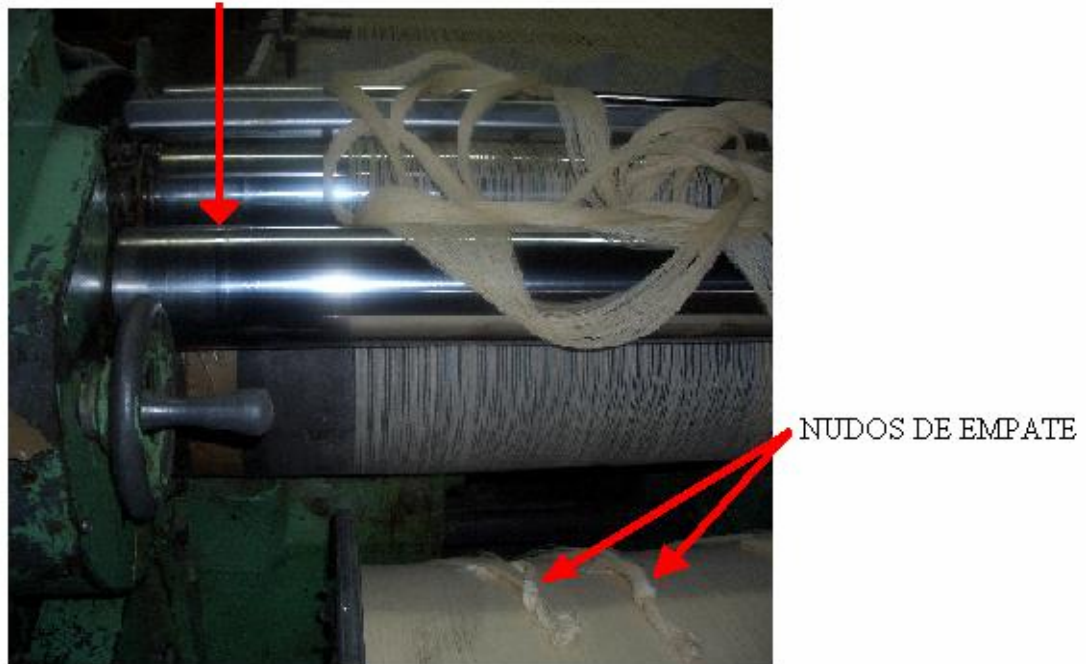


Figura 15 . Posible instalación de micro galgas.

La desventaja existente, se debe a que es un sistema sumamente invasivo, es decir que se requiere modificar las partes mecánicas de la máquina con el fin de fijar las bases de las galgas en un punto que sea el óptimo para la medición, además el cilindro mas apropiado para este tipo de mediciones es móvil, el cual puede estar a diferentes alturas, lo que trae como consecuencia que las galgas podrían descalibrarse y dar una medida errónea o en el peor de los casos los cables de conexión podrían fracturarse, interrumpiendo en su totalidad todo el sistema de control.

3.3.4 Sensor de distancia con salida analógica o digital.

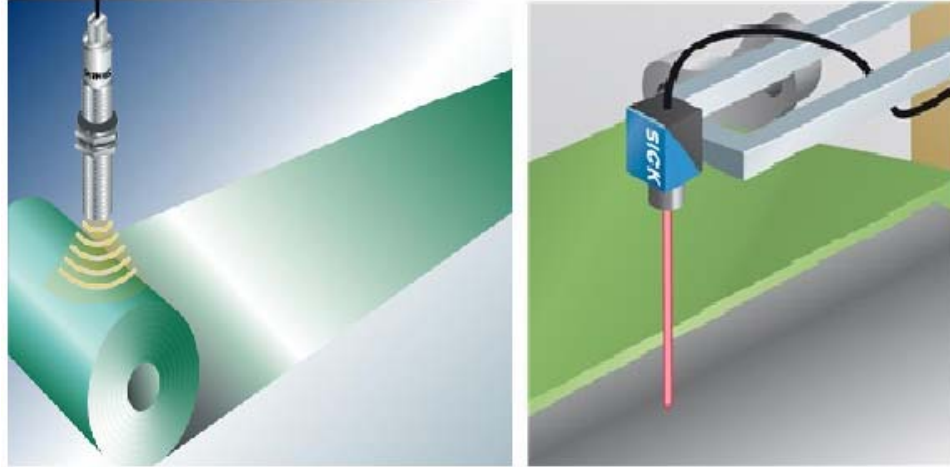


Figura 16. Representación de la instalación de un sensor de distancia.

En la figura 16 podemos observar una propuesta de instalación física del sensor de distancia, con el fin de determinar el crecimiento del carrete de enrollado. En este tipo de sistema de control, se debe tener en consideración que si el sensor es del tipo óptico, los colores del material al cual se les esta dando el acabado pueden influir sobre la medición a realizar.

El modo de funcionamiento de este tipo de sistema es muy similar al planteado con el uso del potenciómetro, en un primer plano se podría decir que éste sería el sistema óptimo para este tipo de procesos, es importante mencionar que este tipo de control se encuentra actualmente empleado en la industria del hierro, específicamente donde se fabrican las láminas de acero, ya que ellos detectan el diámetro mínimo y máximo del rollo de acero y varían la velocidad dependiendo sea la lectura. En el caso de la industria papelerá también es empleado con el fin de detectar cuando se deben realizar los cortes en las bobinas de papel, pero en el caso de la industria textil se podría emplear o no dicho sistema, debido a la densidad de

hilos en la tela y la densidad de hilos en el carrete, así como también el grosor de los hilos o telas empleados en el proceso [15] [16] [17] [19].

En la empresa se realizaron dos pruebas empleando este tipo de sistemas, en la primera se utilizó un sensor de distancia láser modelo DT500 marca SICK, y en la segunda un sensor por ultrasonido modelo BERO marca SIEMENS, ambos modelos poseen salida analógica de 4 a 20 mA, luego esta señal era inyectada directamente a una entrada analógica en el convertidor de frecuencia, posteriormente, empleando bloques funcionales provistos en el convertidor, dicha señal es restada de la entrada proveniente del potenciómetro que controla la velocidad de la sección secundaria. Como se representa en el siguiente esquema:

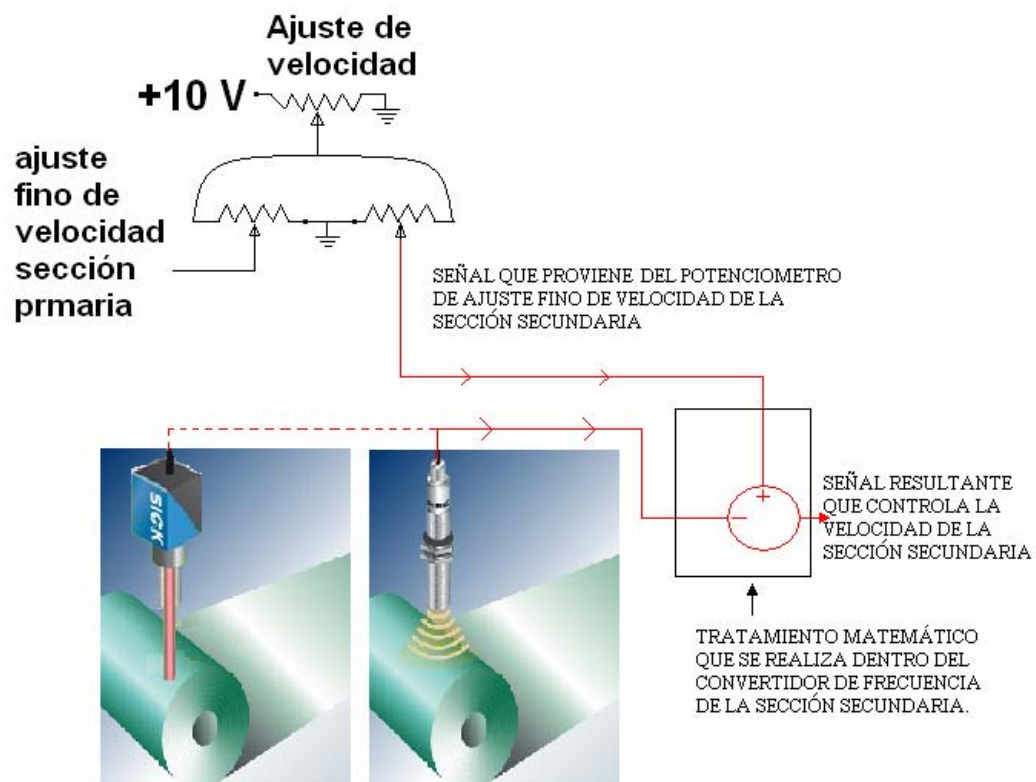


Figura 17. Diagrama del sistema de control diseñado con control escalar empleando sensores de distancia.

Como se aprecian en la figura 17, este tipo de sensores para la aplicación que se está implementado son de gran utilidad, aunque en nuestro caso se presentaron una serie de inconvenientes. En el caso del sensor láser debido al medio ambiente que se encuentra dentro de las instalaciones de la compañía se pudo apreciar, que partículas restantes de hilaturas, así como también, restos pulverizados del acabado que se les da, ocasionaban una medida errónea, esto se conoce como nubosidad en el entorno de trabajo, es por esta razón que no se realizó el sistema de control con el sensor láser. En el caso del sensor por ultrasonido, se realizaron una serie de pruebas en una maqueta que simulaba el funcionamiento de la máquina de engomado, en dicha maqueta las pruebas fueron satisfactorias, en el momento en que se instaló el sensor en el puesto de trabajo, se trató de conseguir la mejor ubicación del sensor por ultrasonido, luego este se programó para que la salida sea ascendente es decir que a menor distancia menor corriente y a mayor distancia mayor corriente (ver Figura 18).

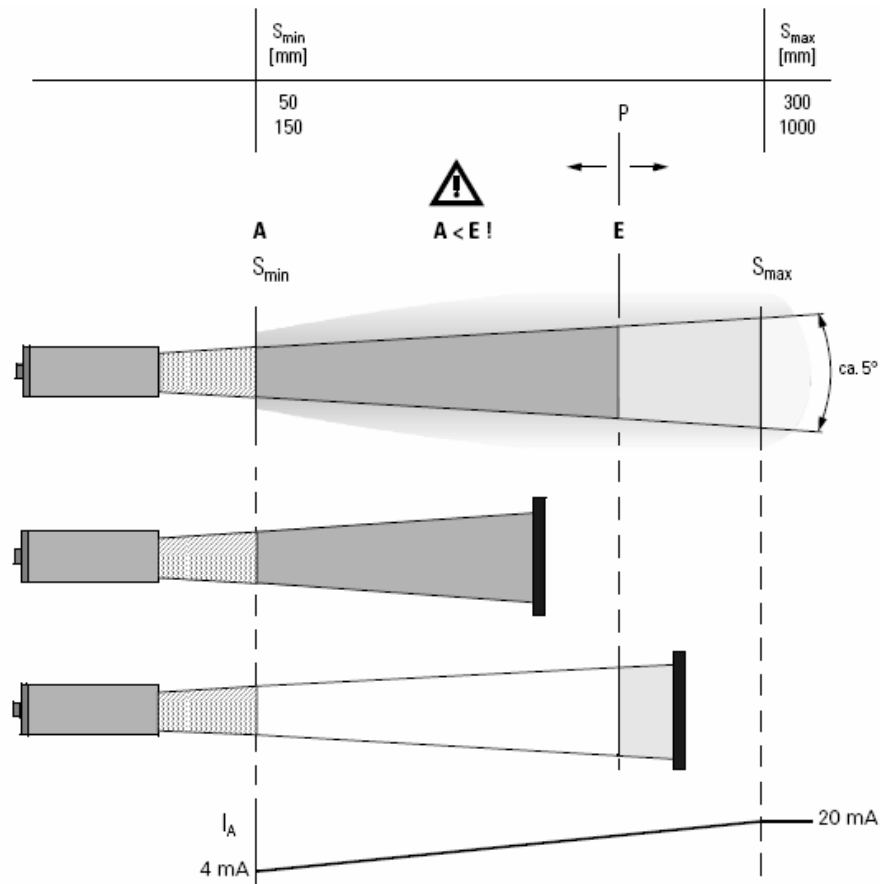


Figura 18. Esquema de funcionamiento del sensor BERO Siemens. (F. Siemens)

Es importante destacar que este tipo de sensor se puede programar según sean las necesidades, así como también variar la pendiente de la salida analógica dependiendo de las mediciones realizadas. En el proceso de puesta en marcha del sistema de control, se pudo controlar la velocidad del carrete de enrollado (ver figura 17.) en función del diámetro del carrete, aunque se encontraron ciertas limitaciones, en el caso de que el carrete de embobinado estaba vacío el control funcionaba perfectamente, a medida que el carrete aumentaba su diámetro hasta cierto valor, el control no ejercía variación aceptable en el control de velocidad, observándose en el producto una sobretensión, teniendo que realizar ajustes de forma manual sobre el potenciómetro de velocidad y así sucesivamente. En conclusión siguiendo la lógica de control empleada con este tipo de sensor por ultrasonido el funcionamiento era el correcto en tramos, es decir que en intervalos de diferentes diámetros del carrete se obtenía el resultado esperado y al existir una variación mayor a este intervalo del diámetro del carrete era necesario la intervención del operario para modificar la velocidad de la sección secundaria. Por tal motivo se procede con otra metodología para solucionar el inconveniente.

3.3.5 Empleo de un control PID o reprogramación de los convertidores de frecuencia que actualmente se encuentran instalados en la máquina con el fin de realizar el control de tensión de enrollado en cualquier material.



Figura 19. Equipos de accionamiento instalados en la máquina de engomado.

Luego de realizar las investigaciones pertinentes de diferentes sistemas de control para procesos similares, se observó que la gran mayoría de estos se encuentran en corriente directa. En este tipo de sistemas, la variable a controlar es la potencia entregada al motor, a través de la variable de tensión (voltaje) y la corriente, las cuales son directamente proporcionales a la potencia entregada al motor. Al proponerse la idea de la reconversión de motores de corriente alterna a motores de corriente directa se descartó debido a que los sistemas de corriente continua son más costosos que los sistemas de corriente alterna, por tal motivo, en la actualidad se está tratando de sustituir los sistemas de corriente directa a sistemas de corriente alterna.

Aplicando la analogía del control de corriente continua al control de corriente alterna, se pensó en dos posibilidades, la primera consiste en emplear un controlador proporcional integral derivativo (PID) ubicado fuera o dentro del convertidor (ver figura 19), con el propósito de mantener la potencia entregada al motor constante, esto se lograría a través de la lectura de la tensión aplicada al motor junto con la lectura de la corriente consumida por el motor, con el fin de que estas dos variables se multipliquen y sean comparadas con una variable externa definida por el usuario, logrando de esta forma mantener la tensión de enrollado constante de acuerdo a la variable externa definida anteriormente [14].

La segunda opción, consistía en aprovechar la capacidad de programación del convertidor de la sección secundaria, con el fin de determinar los diferentes atributos que este posee, por tal motivo se recurre al manual de instrucción facilitado por la empresa fabricante del convertidor (Siemens). Donde se pudo observar que los convertidores instalados en la máquina de engomado, poseen la opción de ser programados en modo control escalar y en modo de control vectorial. En la tabla 2, se mencionan los diferentes métodos de control con el que se puede programar el convertidor MICROMASTER 440 instalado en la máquina.

Tabla 2. Diferentes métodos de control que posee el convertidor MM440 (Siemens).

MICROMASTER 440	
CONTROL ESCALAR	V/F con característica lineal
	V/F con FCC
	V/F con característica parabólica
	V/F con característica programable
	V/F para aplicaciones textiles
	V/F FCC para aplicaciones textiles
	V/F consigna de tensión independiente
CONTROL VECTORIAL	Control Vectorial sin sensor
	Control Vectorial con sensor
	Control Vectorial de par sin sensor
	Control Vectorial de par con sensor

Luego de realizar algunas implementaciones de las posibles soluciones expuestas anteriormente en este capítulo, no se obtuvieron los resultados esperados, por tal motivo se conversó con el departamento técnico de la empresa, los cuales argumentaban que se les solicitó el servicio a diferentes empresas de ingeniería con el fin de solucionar dicho problema y en ninguno de los casos se obtuvo respuesta por parte de las mismas, es por esta razón que nos enfocamos en los dispositivos de control que actualmente están instalados en la máquina con el fin de estudiar y utilizar al máximo sus características funcionales. En función de las gráficas de consumo de corriente obtenidas (ver figura. 8), y de los resultados de todas las pruebas antes mencionadas, se llegó a la conclusión que se debía mantener el par constante durante todo el proceso de enrollado. Es decir, durante el proceso de enrollado el interés fundamental, es mantener la tensión o par constante sobre el producto en el carrete de enrollado sin importar su velocidad de giro (velocidad angular). Para ello se pudiera usar un controlador PID (externo ó interno al MICROMASTER) que utilice, por una parte la corriente entregada al motor, esta corriente se puede leer

desde una salida analógica del convertidor, y una consigna proveniente del potenciómetro de ajuste de la tensión de enrollado, luego si el PID es externo conectar la salida del mismo, a través de una de las entradas analógicas del convertidor (ver figura 20) con el fin de controlar la velocidad del motor manteniendo la corriente constante, partiendo del hecho de que el convertidor se encontraba programado empleando la técnica de control escalar en modo control Voltaje-Frecuencia, descrita en el Capítulo 2.

Ahondando sobre el poder de programación y ejecución de funciones que posee el convertidor instalado, se concluyó, que empleando otro método de control se podía lograr el objetivo. Dicho método de control es el de Control Vectorial sin sensor, explicado en el Capítulo 2.

En un principio se tuvo recelo a esta última propuesta debido a que se corría el riesgo de dañar la programación del convertidor y luego de investigar el procedimiento de respaldo y restauración de la misma se autorizó por parte de la empresa la reconfiguración del dispositivo.

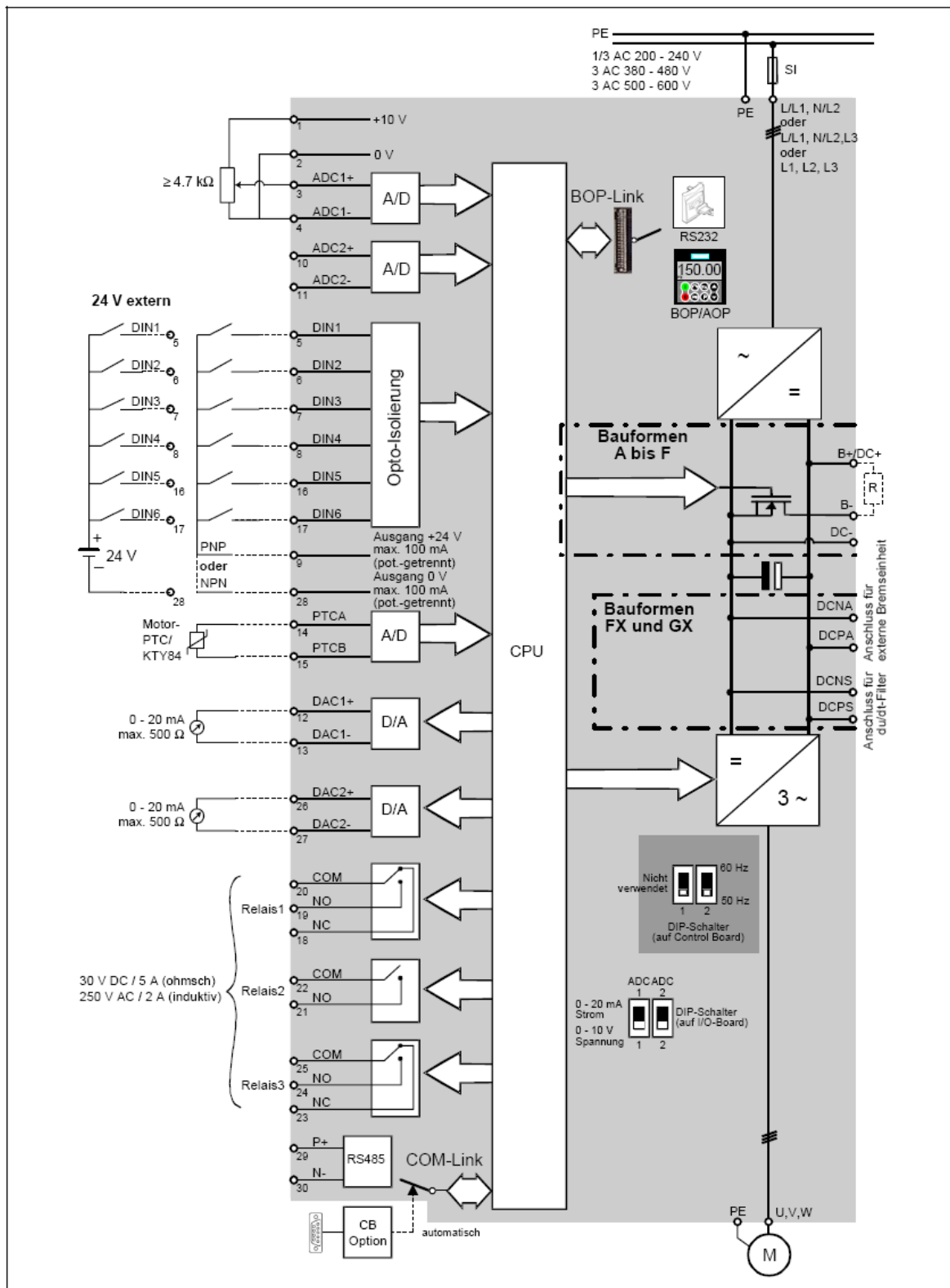


Figura 20. Esquema del convertidor MM440. (F. Siemens)

CAPÍTULO IV. SOLUCIÓN AL PROBLEMA PLANTEADO.

4.1 Reconfiguración del convertidor.

Control vectorial de par sin sensor

El primer paso que se ejecutó, consistió en reinicializar el convertidor con el fin de borrar la programación de control escalar. Los siguientes pasos consistieron en realizar la programación del convertidor en función de las características del motor que acciona la sección secundaria y fijar los valores idóneos para lograr el óptimo funcionamiento del control vectorial de par sin sensor.

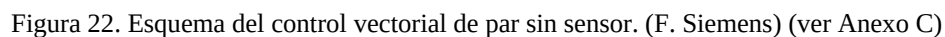
Todos los pasos referentes a la reinicialización y programación del convertidor vectorial se realizaron a través de un software de la empresa Siemens denominado STARTER, dicho software se conecta vía serial RS 232 al convertidor. Este software fue facilitado por el Ing. Nerio Ojeda profesor de la Escuela de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Central de Venezuela, en este programa se clasifican los parámetros de programación según sean las funcionalidades, con el fin de permitir una puesta en servicio más rápida y específica.

La nueva metodología de control, contará con 2 potenciómetros y un selector de dos posiciones, como se muestra en la figura 21. A través del selector de dos posiciones se elige el sentido de giro del carrete de enrollado, ya que la empresa requiere que el carrete de enrollado pueda girar en ambos sentidos con el fin de poder emplear diferentes tipos de plegadores en la fabricación de textiles. Con uno de los potenciómetros se elige la velocidad de inserción, acabado y secado de la materia prima, y con esta misma velocidad el producto textil es embobinado en el carrete, luego con el segundo potenciómetro se controla la tensión con la que se desea que ese producto sea embobinado.



Figura 21. Esquema de control actual.

A continuación, en la figura 22 se muestra el plano funcional del modo control de par, donde se presentan los parámetros que interviene de forma directa con la programación del control vectorial de par sin sensor, aunque para obtener un óptimo funcionamiento, se deben programar las características de la red eléctrica, tipo del motor con todos sus datos de placa, la temperatura del ambiente de trabajo entre otros.



4.1.1 Descripción de parámetros del convertidor.

A continuación se describen los ajustes más relevantes programados en los diferentes parámetros del convertidor de frecuencia.

P0003	Nivel de acceso de usuario	Min: 0	Nivel
EstC: CUT	Tipo datos: U16	Unidad: -	Def: 1
Grupo P: ALWAYS	Activo: Tras Conf.	P.serv.rap.: No	Máx: 4
Define el nivel de acceso a los juegos de parámetros. Para las aplicaciones más simples es suficiente con el ajuste por defecto.			
Posibles ajustes:			
0 Lista de parámetros de usuario			
1 Estándar			
2 Extendido			
3 Experto:			
4 Servicio: Protegido contraseña			

Parámetro ajustado a 3 (Experto), con el propósito de tener acceso a todos los niveles de programación.

P0004	Filtro de parámetro	Min: 0	Nivel
EstC: CUT	Tipo datos: U16	Unidad: -	Def: 0
Grupo P: ALWAYS	Activo: Tras Conf.	P.serv.rap.: No	Máx: 22
Filtra en función de la funcionalidad de los parámetros disponibles para permitir un procedimiento de puesta en servicio más dirigido.			
Posibles ajustes:			
0 Todos los parámetros			
2 Convertidor			
3 Motor			
4 Transductor velocidad			
5 Tecnol. aplicación / unidades			
7 Comandos, I/O binarias			
8 ADC y DAC			
10 Canal de consigna / RFG			
12 Características convertidor			
13 Control de motor			
20 Comunicación			
21 Alarmas/avisos/monitorización			
22 Tecnología regulador (p.e. PID)			

Este parámetro se ajustó a cero (0 Todos los parámetros) con el fin de poder modificar la totalidad de los diferentes ajustes que posee el convertidor.

P0005[3]	Selección indicación display					Nivel
EstC:	CUT	Tipo datos:	U16	Unidad:	-	2
Grupo P:	FUNC	Activo:	Tras Conf.	P.serv.rap.:	No	
				Min:	2	
				Def:	21	
				Máx:	4000	

Selecciona la visualización para el parámetro r0000 (Display de funcionamiento).

Indice:

P0005[0] : 1er. Juego datos accionam.(DDS)
P0005[1] : 2do. Juego datos accionam.(DDS)
P0005[2] : 3er. Juego datos accionam.(DDS)

Ajustes importantes / frecuentes

21 Frecuencia real
25 Tensión de salida
26 Tensión circuito intermedio
27 Corriente de salida

Este parámetro se ajustó a 27 (corriente de salida) con el fin de observar en el display del convertidor, la corriente de consumo del convertidor.

P0010	Parámetro de puesta en marcha					Nivel
EstC:	CT	Tipo datos:	U16	Unidad:	-	1
Grupo P:	ALWAYS	Activo:	Tras Conf.	P.serv.rap.:	No	
				Min:	0	
				Def:	0	
				Máx:	30	

Filtros de parámetros para que sólo puedan seleccionarse los parámetros relacionados con un grupo funcional.

Posibles ajustes:

0 Preparado
1 Guía básica
2 Convertidor
29 Descarga
30 Ajustes de fábrica

Dependencia:

- Poner a 0 para que el convertidor arranque.
- P0003 (Nivel de acceso de usuario) determina también el nivel de acceso a parámetros.

Nota:

P0010 = 1
El convertidor se puede configurar muy rápida y fácilmente ajustando P0010 = 1. Porque tras este ajuste sólo son visibles los parámetros más importantes (p.ej.: P0304, P0305, etc.). El valor de estos parámetros debe introducirse consecutivamente. El final de la p.e.m. rápida y el inicio del cálculo interno se realizarán ajustando P3900 = 1 - 3. Así, los parámetros P0010 y P3900 se reinicializarán a cero automáticamente.

P0010 = 2
Sólo para tareas de revisión.

P0010 = 29
Para transferir un archivo de parámetros por medio de una herramienta de PC (p.ej.: DriveMonitor, STARTER), se ajustará a 29 el parámetro P0010 por parte de la herramienta de PC. Una vez finalizada la descarga, la herramienta de PC reinicializará a cero el parámetro P0010.

P0010 = 30
Al reinicializar los parámetros del convertidor, hay que ajustar a 30 el parámetro P0010. La reinicialización de los parámetros comenzará ajustando el parámetro P0970 = 1. El convertidor reinicializará (borrado total) automáticamente todos sus parámetros a su configuración por defecto. Esto puede resultar beneficioso si se perciben problemas al ajustar los parámetros y desea volver a comenzar la p.e.m desde el principio. La duración del ajuste de fábrica será de unos 60 s.

Para realizar los ajustes de fábrica este parámetro se colocó en 30, luego el parámetro P970 a 1, con esto se reinicializó el convertidor, borrando la programación que se encontraba previamente. Luego de este proceso el parámetro P0010 se colocó

a cero, lo que significa que el convertidor esta listo para continuar con la programación.

P0205	Aplicación del convertidor			Min: 0	Nivel
EstC: C	Tipo datos: U16	Unidad: -	Def: 0		
Grupo P: INVERTER	Activo: Tras Conf.	P.serv.rap.: Sí	Máx: 1		3

Selecciona la aplicación del convertidor.

Posibles ajustes:

- 0 Par constante
- 1 Par variable

Este parámetro se ajustó a UNO, ya que la aplicación requiere de un par variable. Así como lo indica la figura 23.

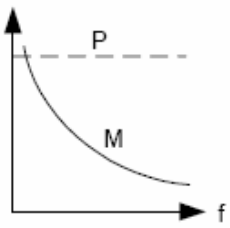
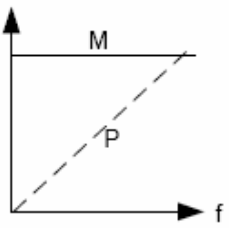
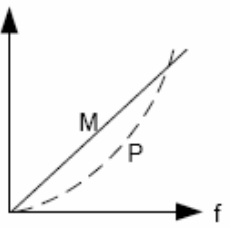
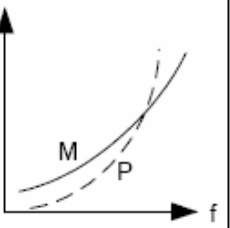
par de giro	$M \sim \frac{1}{f}$	$M = \text{const.}$	$M \sim f$	$M \sim f^2$
Potencia	$P = \text{const.}$	$P \sim f$	$P \sim f^2$	$P \sim f^3$
Característica				
Aplicación	Bobinadores Tornos encarados Cortadoras rotatorias	Unidad levadiza Cintas transportadoras Máquinas de proces. Con moldeado Rodillos amoladores Máquinas acepillad. Compresores	Calandras con fricción viscosa Frenos de corriente de Foucault	Bombas Ventiladores Centrífugas

Figura 23. Aplicaciones del convertidor. (F. Siemens)

P0305[3]	Corriente nominal del motor			Min: 0.01	Nivel
EstC:	C	Tipo datos:	Float	Def: 3.25	1
Grupo P:	MOTOR	Activo:	Tras Conf.	Máx: 10000.00	
		Unidad:	A	P.serv.rap.: Si	

Intensidad nominal del motor [A] de la placa de características

Indice:

P0305[0] : 1er. Juego datos accionam.(DDS)

P0305[1] : 2do. Juego datos accionam.(DDS)

P0305[2] : 3er. Juego datos accionam.(DDS)

Este parámetro se colocó a 36 A, que es la corriente nominal que indica la placa del motor de la sección secundaria.

P0307[3]	Potencia nominal del motor			Min: 0.01	Nivel
EstC:	C	Tipo datos:	Float	Def: 0.12	1
Grupo P:	MOTOR	Activo:	Tras Conf.	Máx: 2000.00	
		Unidad:	-	P.serv.rap.: Si	

Potencia nominal del motor [kW/hp] de la placa de características.

En este parámetro se colocó 15 hp, que es la potencia nominal del motor.

P0309[3]	Rendimiento nominal del motor			Min: 0.0	Nivel
EstC:	C	Tipo datos:	Float	Def: 0.0	2
Grupo P:	MOTOR	Activo:	Tras Conf.	Máx: 99.9	
		Unidad:	%	P.serv.rap.: Si	

Rendimiento nominal del motor en [%] de la placa de características.

En este parámetro se colocó 86.5%, según dato de placa del motor.

P0310[3]	Frecuencia nominal del motor			Min: 12.00	Nivel
EstC:	C	Tipo datos:	Float	Def: 50.00	1
Grupo P:	MOTOR	Activo:	Tras Conf.	Máx: 650.00	
		Unidad:	Hz	P.serv.rap.: Si	

Frecuencia nominal motor [Hz] de la placa de características.

En este parámetro se colocó 60 Hz. Frecuencia del motor.

P0311[3]	Velocidad nominal del motor			Min: 0	Nivel
EstC:	C	Tipo datos:	U16	Def: 0	1
Grupo P:	MOTOR	Activo:	Tras Conf.	Máx: 40000	
		Unidad:	1/min	P.serv.rap.: Si	

Velocidad nominal motor [rpm] de la placa de características.

En este parámetro se colocó 1735, que son las RPM nominales del motor.

P0700[3]	Selección fuente de ordenes			Min: 0	Nivel
EstC:	CT	Tipo datos: U16	Unidad: -	Def: 2	1
Grupo P:	COMMANDS	Activo: Tras Conf.	P.serv.rap.: Si	Máx: 6	

Selecciona la fuente para la orden digital.

Posibles ajustes:

- 0 Ajuste por defecto de fábrica
- 1 BOP (teclado)
- 2 Terminal
- 4 USS en conexión BOP
- 5 USS en conexión COM
- 6 CB en conexión COM

Este parámetro se ajustó a 2 y automáticamente el convertidor ajusta una serie de parámetros según la tabla 3, que se muestra a continuación.

Tabla 3. Configuración de fábrica. (F. Siemens)

	P0700 = 0	P0700 = 1	P0700 = 2	P0700 = 4	P0700 = 5	P0700 = 6
P0701	1	0	1	0	0	0
P0702	12	0	12 → 99	0	0	0
P0703	9	9	9	9	9	9
P0704	15	15	15	15	15	15
P0705	15	15	15	15	15	15
P0706	15	15	15	15	15	15
P0707	0	0	0	0	0	0
P0708	0	0	0	0	0	0
P0731	52.3	52.3	52.3	52.3	52.3	52.3
P0732	52.7	52.7	52.7	52.7	52.7	52.7
P0733	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
P0800	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
P0801	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
P0840	722.0	19.0	722.0	2032.0	2036.0	2090.0
P0842	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
P0844	1.0	19.1	1.0	2032.1	2036.1	2090.1
P0845	19.1	19.1	19.1	19.1	19.1	19.1
P0848	1.0	1.0	1.0	2032.2	2036.2	2090.2
P0849	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
P0852	1.0	1.0	1.0	2032.3	2036.3	2090.3

	P0700 = 0	P0700 = 1	P0700 = 2	P0700 = 4	P0700 = 5	P0700 = 6
P1020	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
P1021	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
P1022	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
P1023	722.3	722.3	722.3	722.3	722.3	722.3
P1026	722.4	722.4	722.4	722.4	722.4	722.4
P1028	722.5	722.5	722.5	722.5	722.5	722.5
P1035	19.13	19.13	19.13	2032.13	2036.13	2090.13
P1036	19.14	19.14	19.14	2032.14	2036.14	2090.14
P1055	0.0	19.8	0.0	2032.8	2036.8	2090.8
P1056	0.0	0.0	0.0	2032.9	2036.9	2090.9
P1074	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
P1110	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
P1113	722.1	19.11	722.1	2032.11	2036.11	2090.11
P1124	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
P1140	1.0	1.0	1.0	2032.4	2036.4	2090.4
P1141	1.0	1.0	1.0	2032.5	2036.5	2090.5
P1142	1.0	1.0	1.0	2032.6	2036.6	2090.6
P1230	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
P1477	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
P1501	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
P2103	722.2	722.2	722.2	722.2	722.2	722.2
P2104	0.0	0.0	0.0	2032.7	2036.7	2090.7
P2106	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
P2200	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
P2220	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
P2221	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
P2222	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
P2223	722.3	722.3	722.3	722.3	722.3	722.3
P2226	722.4	722.4	722.4	722.4	722.4	722.4
P2228	722.5	722.5	722.5	722.5	722.5	722.5
P2235	19.13	19.13	19.13	2032.13	2036.13	2090.13
P2236	19.14	19.14	19.14	2032.14	2036.14	2090.14

A través del parámetro P0702 (entrada digital 2) se activa la inversión de giro del motor, pero cuando se aplica control vectorial de par sin sensor, no invierte el sentido de giro una vez activada esta señal. Por consiguiente esta entrada se programó a 99 que es una habilitación de parametrización BICO que se empleará más adelante (Ver P0810).

En los equipos de accionamiento existe una cantidad considerable de valores enlazables de entrada y salida, así como magnitudes para regulación interna. Con la tecnología BICO se puede adaptar el accionamiento del convertidor a las más diversas exigencias.

La tecnología BICO (inglés: Binector Connector Technology) permite enlazar datos del proceso mediante parámetros. Los valores enlazables se definen CONECTORES (p. ej. consignas y valores reales de frecuencia, valor real de intensidad, etc.) y las señales digitales enlazables BINECTORES (p. ej. entrada digital de estado, ON/OFF, mensajes cuando se sobrepasan límites, etc.). Un binector es una señal digital (binaria), sin unidad, que puede tomar el valor 0 ó 1. Los binectores se aplican siempre a funciones y se dividen en entradas y salidas [21].

P0756[2]	Tipo de ADC			Min: 0	Nivel
EstC: CT	Tipo datos: U16	Unidad: -	Def: 0		2
Grupo P: TERMINAL	Activo: Tras Conf.	P.serv.rap.: No	Máx: 4		
Define el tipo de entrada analógica y habilita también la monitorización de la entrada analógica. Monitorización implica detección de rotura de hilo. Para conmutar de entrada analógica de tensión a intensidad no es suficiente con modificar P0756. Además, los DIPs de la tarjeta de terminales deben también fijarse en la posición correcta. El ajuste de los DIPs (zona inferior izquierda de la tarjeta E/S) debe hacerse como sigue: - OFF = entrada tensión (10 V) - ON = entrada intensidad (20 mA) La distribución de los DIPs para la entrada analógica es como sigue: - DIP de la izquierda (DIP 1) = Entrada analógica 1 - DIP de la derecha (DIP 2) = Entrada analógica 2 Posibles ajustes: 0 Ent. tensión unip. (0 a +10 V) 1 Ent. tensión unip. monitorizada 2 Ent. intens. unip. (0 a 20mA) 3 Ent. intens. unip. monitorizada 4 Ent. tensión bip. (-10 a +10 V)					

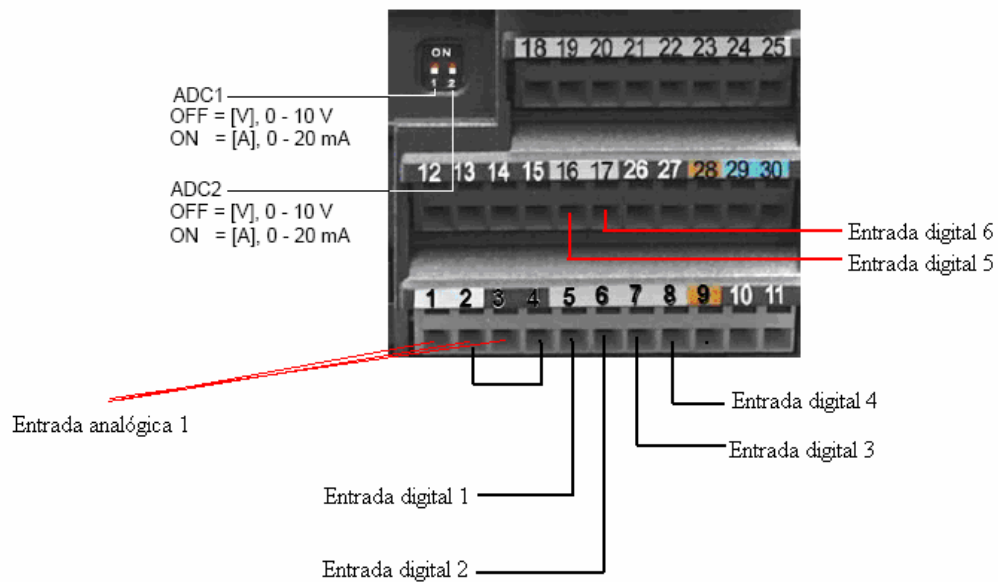


Figura 24. Tarjeta de terminales convertidor MICROMASTER 440. (F. Siemens)

Antes de cualquier modificación se colocó el DIP 1 (ver Figura 24) en OFF, para indicar que la entrada analógica 1 viene dada en voltaje unipolar (0 a +10 V), luego el parámetro P0756 se ajustó a cero P0756[0]=0.

P0759[2]	Valor x2 escal. de la ADC [V/mA]					Nivel
EstC:	CUT	Tipo datos:	Float	Unidad:	-	Def: 10
Grupo P:	TERMINAL	Activo:	Tras Conf.	P.serv.rap.:	No	Máx: 20

Ajusta el valor de X2 como se describe en P0757 (escalado ADC).

Los parámetros P0757 y P0758 quedaron ajustados con el valor por defecto es decir cero (0), el P0759 se ajustó a 0,2.

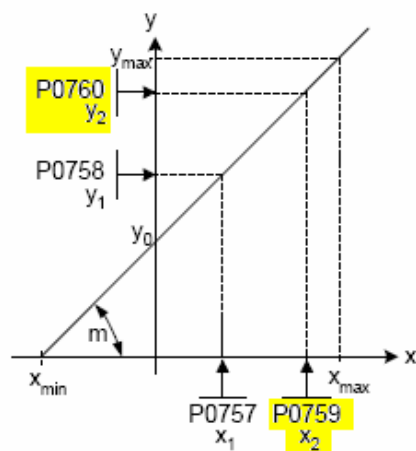


Figura 25. Escalamiento de la entrada analógica.

P0760[2]	Valor y2 of ADC escalado			Min: -99999.9	Nivel
EstC:	CUT	Tipo datos:	Float	Unidad: %	Def: 100.0
Grupo P:	TERMINAL	Activo:	Tras Conf.	P.serv.rap.: No	Máx: 99999.9
Ajusta el valor de Y2 en [%] como se describe en P0757 (escalado ADC)					

Este parámetro se ajusto a 2%. Dicho parámetro en combinación con P0759 fueron ajustados a estos valores con el propósito de reducir la sensibilidad (ver Figura 25.) del convertidor ante cambios de la consigna de tensión del producto a ser enrollado proveniente del potenciómetro multivueltas.

P1000[3]	Selecc. consigna de frecuencia			Min: 0	Nivel
EstC:	CT	Tipo datos:	U16	Unidad: -	Def: 2
Grupo P:	SETPOINT	Activo:	Tras Conf.	P.serv.rap.: Sí	Máx: 77
Selecciona la fuente de consigna de frecuencia. En la tabla de posibles ajustes de abajo, la consigna principal se selecciona desde el dígito menos significativo (p.e., 0 a 6) y cualquier consigna adicional desde el dígito más significativo (i.e., x0 a través de x6).					

Posibles ajustes:

0	Sin consigna principal	
1	Consigna MOP	
2	Consigna analógica	
3	Frecuencia fija	
4	USS en conexión BOP	
5	USS en conexión COM	
6	CB en conexión COM	
7	Consigna analógica 2	
10	Sin cna. princ.	+ Consigna MOP
11	Cna. MOP	+ Consigna MOP
12	Cna. análog.	+ Consigna MOP
13	Frecuencia fija	+ Consigna MOP
14	USS con. BOP	+ Consigna MOP
15	USS con. COM	+ Consigna MOP
16	CB con. COM	+ Consigna MOP
17	Cna. análog. 2	+ Consigna MOP
20	Sin cna. princ.	+ Cna. análog.
21	Cna. MOP	+ Cna. análog.
22	Cna. análog.	+ Cna. análog.
23	Frec. fija	+ Cna. análog.
24	USS con.BOP	+ Cna. análog.
25	USS con.COM	+ Cna. análog.
26	CB con.COM	+ Cna. análog.
27	Cna. análog. 2	+ Cna. análog.
30	Sin cna. princ.	+ Frec. fija
31	Cna. MOP	+ Frec. fija
32	Cna. analógica	+ Frec. fija
33	Frecuencia fija	+ Frec. fija
34	USS con. BOP	+ Frec. fija
35	USS con. COM	+ Frec. fija
36	CB con. COM	+ Frec. fija
37	Cna. análog. 2	+ Frec. fija
40	Sin cna. princ.	+ USS con.BOP
41	Cna. MOP	+ USS con.BOP
42	Cna. análog.	+ USS con.BOP
43	Frec. fija	+ USS con.BOP
44	USS con.BOP	+ USS con.BOP
45	USS con.COM	+ USS con.BOP
46	CB con.COM	+ USS con.BOP
47	Cna. análog. 2	+ USS con.BOP
50	Sin cna. princ.	+ USS con.COM
51	Cna. MOP	+ USS con.COM
52	Cna. análog.	+ USS con.COM
53	Frec. fija	+ USS con.COM
54	USS con.BOP	+ USS con.COM
55	USS con.COM	+ USS con.COM
57	Cna. análog. 2	+ USS con.COM
60	Sin cna. princ.	+ CB con.COM
61	Cna. MOP	+ CB con.COM
62	Cna. análog.	+ CB con.COM
63	Frec. fija	+ CB con.COM
64	USS con.BOP	+ CB con.COM
66	CB con.COM	+ CB con.COM
67	Cna. análog. 2	+ CB con.COM
70	Sin cna. princ.	+ Cna. análog. 2
71	Consigna MOP	+ Cna. análog. 2
72	Cna. análog.	+ Cna. análog. 2
73	Frec. fija	+ Cna. análog. 2
74	USS con. BOP	+ Cna. análog. 2
75	USS con. COM	+ Cna. análog. 2
76	CB con. COM	+ Cna. análog. 2
77	Cna. análog. 2	+ Cna. análog. 2

Este parámetro se ajustó a 2, para indicar que la consigna principal es la entrada analógica 1, en donde esta conectado el potenciómetro con el que se fijará la tensión de enrollado del producto. La diferencia entre la posición 2 y la 22 radica en que en esta última se suma la misma entrada analógica 1 que posee el convertidor.

P1080[3]	Frecuencia mínima			Min: 0.00	Nivel
EstC:	CUT	Tipo datos: Float	Unidad: Hz	Def: 0.00	1
Grupo P:	SETPOINT	Activo: Inmediato	P.serv.rap.: Sí	Máx: 650.00	

Ajusta la frecuencia mínima del motor [Hz] a la cual el motor funcionará independientemente de la consigna de frecuencia.

Este parámetro se ajustó a cero. Con el propósito de que la frecuencia mínima del motor sea cero, es decir, este detenido.

P1082[3]	Frecuencia máx.			Min: 0.00	Nivel
EstC:	CT	Tipo datos: Float	Unidad: Hz	Def: 50.00	1
Grupo P:	SETPOINT	Activo: Tras Conf.	P.serv.rap.: Sí	Máx: 650.00	

Ajusta la frecuencia de motor máxima [Hz] a la cual el motor funcionará independientemente de la consigna de frecuencia. El ajuste de este valor es válido para ambos sentidos de rotación horaria y antihoraria.

Dependencia:

El valor máximo de la frecuencia del motor P1082 está limitado a la frecuencia de pulsación P1800. P1082 depende de la característica de clasificación siguiente:

		P1800			
		2 kHz	4 kHz	6 kHz	8 - 16 kHz
f _{max}	P1082	0 - 133.3 Hz	0 - 266.6 Hz	0 - 400 Hz	0 - 650 Hz

Luego de realizar pruebas de ensayo y error en el proceso de engomado, este parámetro fue ajustado a 200 Hz, ya que nuestra limitante no es la frecuencia de giro sino el par con el que se realiza el embobinado del producto. Es importante mencionar que se tomó este valor en un punto de operación donde el convertidor trabaja en una zona holgada sin exigir el máximo de la frecuencia que este puede generar según el parámetro P1800.

P1800	Frecuencia pulsación				Min: 2	Nivel
EstC:	CUT	Tipo datos:	U16	Unidad:	kHz	Def: 4
Grupo P:	INVERTER	Activo:	Inmediato	P.serv.rap.:	No	Máx: 16
						2

Ajuste de la frecuencia de pulsación del convertidor. Esta frecuencia se modificar en niveles de 2 kHz.

Dependencia:

La frecuencia de pulsación mínima depende del P1082 (frecuencia máxima) y P0310 (frecuencia nominal del motor).

- consultar P1082
- $P1800 > 30 * P0310$

Siguiendo las indicaciones del fabricante del convertidor el parámetro P1800 debe ser mayor a 30 veces la frecuencia nominal del motor. $P1800 > 30 * 60 = 1.8$ kHz, por tal motivo se dejó el P1800 programado con el valor por defecto, es decir $P1800 = 4$ kHz.

P1120[3]	Tiempo de aceleración				Min: 0.00	Nivel
EstC:	CUT	Tipo datos:	Float	Unidad:	s	Def: 10.00
Grupo P:	SETPOINT	Activo:	Tras Conf.	P.serv.rap.:	Sí	Máx: 650.00
						1

Tiempo utilizado por el motor para acelerar desde el punto muerto hasta la frecuencia máxima del motor (P1082) cuando no se utiliza el redondeo.

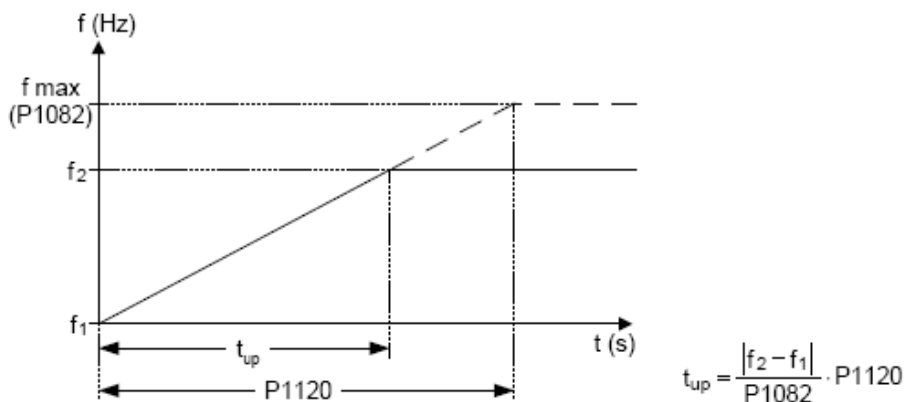
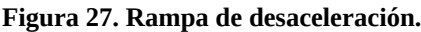


Figura 26. Rampa de aceleración.

Este parámetro se ajustó a 4 seg. Con el propósito de que el motor de la sección secundaria aumente la aceleración (ver figura 26) más rápido que el motor de la sección primaria para evitar el efecto chinchorro del producto entre el carrete de enrollado y la sección primaria. Es importante mencionar que este valor se obtuvo de forma práctica (ensayo y error), en pruebas realizadas durante varios procesos en la máquina de engomado.

Tiempo utilizado por el motor para desacelerar desde la frecuencia máxima (P1082) hasta el punto muerto cuando no se utiliza el redondeo.



P1300[3]	Modo de control				Min: 0	Nivel 2
	EstC: CT	Tipo datos: U16	Unidad: -	Def: 0		
	Grupo P: CONTROL	Activo: Tras Conf.	P.serv.rap.: Sí	Máx: 23		

Con este parámetro se ajusta el tipo de regulación conforme a la aplicación.

Posibles ajustes:

- | | |
|----|----------------------------------|
| 0 | V/f con caracterist. lineal |
| 1 | V/f con FCC |
| 2 | V/f con caracterist. parabólica |
| 3 | V/f con caracterist. programable |
| 4 | Reservado |
| 5 | V/f para aplicaciones textiles |
| 6 | V/f FCC para aplic. textiles |
| 19 | V/f cna tens. independiente |
| 20 | Control vectorial sin sensor |
| 21 | Control vectorial con sensor |
| 22 | Control vect. de par sin sensor |
| 23 | Control vect. de par con sensor |

57

Tabla 4. Resumen de parámetros de control que se pueden modificar en relación dependiente de P1300.

ParNo.	Nombre del parametro	Level	V/f								SLVC		VC	
			P1300 =											
			0	1	2	3	5	6	19	20	22	21	23	
P1300[3]	Modo de control	2	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
P1310[3]	Elevación continua	2	x	x	x	x	x	x	x	—	—	—	—	
P1311[3]	Elevación para aceleración	2	x	x	x	x	x	x	x	—	—	—	—	
P1312[3]	Elevación en arranque	2	x	x	x	x	x	x	x	—	—	—	—	
P1316[3]	Frecuencia final de elevación	3	x	x	x	x	x	x	x	—	—	—	—	
P1320[3]	Coord.1 frec. program. curva V/F	3	—	—	—	x	—	—	—	—	—	—	—	
P1321[3]	Coord.1 tens. program. curva V/F	3	—	—	—	x	—	—	—	—	—	—	—	
P1322[3]	Coord.2 frec. program. curva V/F	3	—	—	—	x	—	—	—	—	—	—	—	
P1323[3]	Coord.2 tens. program. curva V/F	3	—	—	—	x	—	—	—	—	—	—	—	
P1324[3]	Coord.3 frec.programab.curva V/F	3	—	—	—	x	—	—	—	—	—	—	—	
P1325[3]	Coord.3 tens.programab.curva V/F	3	—	—	—	x	—	—	—	—	—	—	—	
P1330[3]	CI: V(Consigna)	3	—	—	—	—	—	—	x	—	—	—	—	
P1333[3]	Frecuencia de inicio para el FCC	3	—	x	—	—	—	x	—	—	—	—	—	
P1335[3]	Límite de deslizamiento	2	x	x	x	x	—	—	—	—	—	—	—	
P1336[3]	CO: Frecuencia deslizamiento c	2	x	x	x	x	—	—	—	—	—	—	—	
P1338[3]	Amortiguam.resonanc.ganacia V/f	3	x	x	x	x	—	—	—	—	—	—	—	
P1340[3]	Ganancia prop. regul. frec. Imáx	3	x	x	x	x	x	x	x	—	—	—	—	
P1341[3]	Tiempo integral regulador Imáx	3	x	x	x	x	x	x	x	—	—	—	—	
P1345[3]	Ganancia prop. del regulad. Imáx	3	x	x	x	x	x	x	x	—	—	—	—	
P1346[3]	Ti regulador tensión Imáx	3	x	x	x	x	x	x	x	—	—	—	—	
P1350[3]	Tensión de arranque suave	3	x	x	x	x	x	x	x	—	—	—	—	

P1400[3]	Config. regul. velocidad	3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	x	—
P1442[3]	Tiempo filtrado velocidad real	3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	x	—
P1452[3]	Tiempo filtrado veloc real(SLVC)	3	—	—	—	—	—	—	—	x	—	—	—
P1460[3]	Ganancia del regulador velocidad	2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	x	—
P1462[3]	Tiempo integral regul. velocidad	2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	x	—
P1470[3]	Ganancia regulador veloc. (SLVC)	2	—	—	—	—	—	—	—	x	—	—	—
P1472[3]	Tiempo integral de regul-n(SLVC)	2	—	—	—	—	—	—	—	x	—	—	—
P1477[3]	BI: Ajuste integrador regul.-n.	3	—	—	—	—	—	—	—	x	—	x	—
P1478[3]	CI: Ajuste valor integrador reg.	3	—	—	—	—	—	—	—	x	—	x	—
P1488[3]	Caída escalada	3	—	—	—	—	—	—	—	x	—	x	—
P1489[3]	CO: Frecuencia de caída	3	—	—	—	—	—	—	—	x	—	x	—
P1492[3]	Habilitar caída	3	—	—	—	—	—	—	—	x	—	x	—
P1496[3]	Escalado del precontrol de acel.	3	—	—	—	—	—	—	—	x	—	x	—
P1499[3]	Escalado del control de par acel	3	—	—	—	—	—	—	—	—	x	—	—

P1531[3]	Valor fijo límite potencia gener	2	-	-	-	-	-	-	-	X	X	X	X
P1570[3]	CO: Valor fijo consigna par	2	-	-	-	-	-	-	-	X	X	X	X
P1574[3]	Valor máx. tensión dinámica	3	-	-	-	-	-	-	-	X	X	X	X
P1580[3]	Optimización rendimiento	2	-	-	-	-	-	-	-	X	X	X	X
P1582[3]	Tiempo alisamiento para cons.flu	3	-	-	-	-	-	-	-	X	X	X	X
P1596[3]	Tiempo int. regul. debil. campo	3	-	-	-	-	-	-	-	X	X	X	X
P1610[3]	Elevación continua (SLVC)	2	-	-	-	-	-	-	-	X	X	-	-
P1611[3]	Elevación para acel. (SLVC)	2	-	-	-	-	-	-	-	X	X	-	-
P1740	Ganancia p. regulador osc. tiro	3	-	-	-	-	-	-	-	X	X	-	-
P1750[3]	Palabra de estado para el modelo	3	-	-	-	-	-	-	-	X	X	X	X
P1755[3]	Frec-paro modelo motorl (SLVC)	3	-	-	-	-	-	-	-	X	X	-	-
P1756[3]	Frec-hist. modelo motor(SLVC)	3	-	-	-	-	-	-	-	X	X	-	-
P1758[3]	T(espera) paso modo alim.-del.	3	-	-	-	-	-	-	-	X	X	-	-
P1759[3]	T(espera) p. adapt.-n p.asent.	3	-	-	-	-	-	-	-	X	X	-	-
P1764[3]	Kp de adaptación-n (SLVC)	3	-	-	-	-	-	-	-	X	X	-	-
P1780[3]	Salida de la adaptación-Rs	3	-	-	-	-	-	-	-	X	X	-	-
P0400[3]	Seleccionar tipo de encoder	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	X
P0408[3]	Nº. de pulsos del encoder	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	X
P0491[3]	Reac. pérdida señal velocidad	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	X
P0492[3]	Diferencia velocidad permitida	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	X
P0494[3]	Demora reac. pérdida velocidad	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	X

P1499[3]	Escalado par a baja frec (SLVC)	Min: 0.0	Nivel
EstC: CUT	Tipo datos: Float	Def: 100.0	3
Grupo P: CONTROL	Activo: Inmediato	Máx: 400.0	

Introduce el escalado de aceleración en [%] para el control de par sin sensores (SLVC) a bajas frecuencias. Ver tabla resumen en P1300 para la relación de dependencia con éste.

Este parámetro se ajustó a 200%. Con el fin de aumentar la aceleración para el control del par a bajas frecuencias, dicho valor se obtuvo realizando pruebas de ensayo y error en el proceso de engomado.

P1500[3]	Selección consigna de par	Min: 0	Nivel
EstC: CT	Tipo datos: U16	Def: 0	2
Grupo P: CONTROL	Activo: Tras Conf.	Máx: 77	

Selecciona la fuente para la consigna de par.

Posibles ajustes:

0	Sin consigna principal	
2	Consigna analógica	
4	USS en conexión BOP	
5	USS en conexión COM	
6	CB en conexión COM	
7	Consigna analógica 2	
20	Sin cna. princ.	+ Cna. análog.
22	Cna. análog.	+ Cna. análog.
24	USS con.BOP	+ Cna. análog.
25	USS con.COM	+ Cna. análog.
26	CB con.COM	+ Cna. análog.
27	Cna. análog. 2	+ Cna. análog.
40	Sin cna. princ.	+ USS con.BOP
42	Cna. análog.	+ USS con.BOP
44	USS con.BOP	+ USS con.BOP
45	USS con.COM	+ USS con.BOP
46	CB con.COM	+ USS con.BOP
47	Cna. análog. 2	+ USS con.BOP
50	Sin cna. princ.	+ USS con.COM
52	Cna. análog.	+ USS con.COM
54	USS con.BOP	+ USS con.COM
55	USS con.COM	+ USS con.COM
57	Cna. análog. 2	+ USS con.COM
60	Sin cna. princ.	+ CB con.COM
62	Cna. análog.	+ CB con.COM
64	USS con.BOP	+ CB con.COM
66	CB con.COM	+ CB con.COM
67	Cna. análog. 2	+ CB con.COM
70	Sin cna. princ.	+ Cna. análog. 2
72	Cna. análog.	+ Cna. análog. 2
74	USS con.BOP	+ Cna. análog. 2
75	USS on COM link	+ Cna. análog. 2
76	CB con.COM	+ Cna. análog. 2
77	Cna. análog. 2	+ Cna. análog. 2

Este parámetro se ajustó a 2. De aquí se indica la fuente de la señal que controlará el par.

P1520[3]	CO: Límite superior par			Min: -99999.00	Nivel
EstC:	CUT	Tipo datos: Float	Unidad: Nm	Def: 5.13	2
Grupo P:	CONTROL	Activo: Inmediato	P.serv.rap.: No	Máx: 99999.00	

Especifica el valor fijo para la limitación de par superior.

Este parámetro se ajustó a 92.34 Nm. Es el Par máximo que el convertidor puede alcanzar debido a limitaciones mecánicas y eléctricas del motor. Este dato se obtiene a través de un conjunto de formulas que indica el fabricante del convertidor [20].

P1521[3]	CO: Límite inferior par			Min: -99999.00	Nivel
EstC:	CUI	Tipo datos: Float	Unidad: Nm	Def: -5.13	2
Grupo P:	CONTROL	Activo: Inmediato	P.serv.rap.: No	Máx: 99999.00	

Introduce el valor fijo de la limitación inferior de par.

Este parámetro se ajustó a -92.34 Nm. Esto con el fin de fijar el par cuando el motor gira en sentido inverso.

4.1.2 Programación del cambio de giro.

P0809[3]	Copiar el Command Data Set	Min: 0	Nivel
EstC: CT	Tipo datos: U16	Unidad: -	Def: 0
Grupo P: COMMANDS	Activo: Tras Conf.	P.serv.rap.: No	Máx: 2

Ejecuta la función 'Copia de juegos de datos de ordenes'.

La lista de todos los parámetros de los datos de los comandos (CDS) puede verse en el resumen de la lista de parámetros.

Indice:

P0809[0] : Copiar desde CDS
P0809[1] : Copiar en CDS
P0809[2] : Iniciar la copia

Ejemplo:

La copia de todos los valores de la 1a CDS a la 3a CDS puede efectuarse como sigue:

P0809[0] = 0 1. CDS
P0809[1] = 2 3. CDS
P0809[2] = 1 Iniciar copia

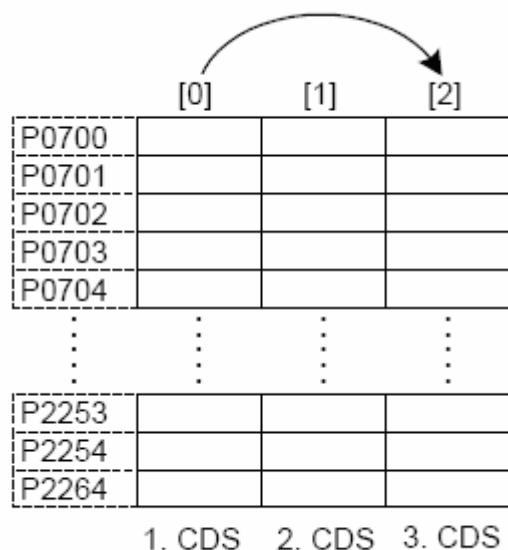


Figura 28. Copia de datos.

En este convertidor se pueden programar 3 diferentes tipos de comandos de datos, esto con el fin de poder emplear el mismo convertidor en diferentes aplicaciones y/o motores sin tener que reprogramar el mismo cada vez que se haga el cambio. En este caso se emplea el segundo juego de datos para invertir el sentido de giro del carrete de enrollado. Este procedimiento se debe hacer una vez completado la programación del convertidor.

Es en este parámetro donde se eligen los datos a copiar

P0809[0]=0 comando de datos que se va a copiar.(Fuente)

Luego se elige la ubicación donde se desean grabar los datos seleccionados

P0809[1]=1 posición donde se van a copiar los comandos de datos. (Destino)

Y por ultimo se coloca este parámetro en 1 con el fin de iniciar la copia de los datos.

P0809[2]=1 Iniciar la copia de los datos.

P0810	BI: CDS bit 0 (Local / Remote)	Min: 0:0	Nivel
EstC: CUT	Tipo datos: U32	Def: 0:0	2
Grupo P: COMMANDS	Activo: Tras Conf.	Unidad: -	
	P.serv.rap.: No	Máx: 4095:0	

Selecciona la fuente de órdenes desde la cual se lee el Bit 0 para seleccionar un juego de datos de órdenes (CDS).

Ajustes importantes / frecuentes

722.0 = Entrada digital 0 (requiere que P0701 sea ajustado a 99, BICO)
722.1 = Entrada digital 1 (requiere que P0702 sea ajustado a 99, BICO)
722.2 = Entrada digital 2 (requiere que P0703 sea ajustado a 99, BICO)
722.3 = Entrada digital 3 (requiere que P0704 sea ajustado a 99, BICO)
722.4 = Entrada digital 4 (requiere que P0705 sea ajustado a 99, BICO)
722.5 = Entrada digital 5 (requiere que P0706 sea ajustado a 99, BICO)
722.6 = Entrada digital 7 (vía entrada analógica 1, requiere que P0707 sea ajustado a 99)
722.7 = Entrada digital 8 (vía entrada analógica 2, requiere que P0708 sea ajustado a 99)

Este parámetro fue ajustado a 722.1, que conjuntamente con el parámetro P702 se emplean para la inversión del sentido de giro del motor. Al activar esta entrada digital se selecciona una fuente de datos diferente a la principal. En este caso, solo contamos con dos fuentes de datos que fueron programadas en el parámetro P0809.

P1503[3]	CI: Consigna par	Min: 0:0	Nivel
EstC: T	Tipo datos: U32	Def: 0:0	3
Grupo P: CONTROL	Activo: Tras Conf.	Unidad: -	
	P.serv.rap.: No	Máx: 4000:0	

Selecciona la fuente de la consigna de par para la regulación de par.

Indice:

P1503[0] : 1er. Juego datos comando(CDS)
P1503[1] : 2do. Juego datos comando(CDS)
P1503[2] : 3er. Juego datos comando(CDS)

Este parámetro se programó de la siguiente forma:

P1503[0]= 755.0 consigna de entrada, señal analógica 1.

P1503[1]= r2272 salida de la realimentación negativa del PID. Esta señal equivale a la entrada analógica 1 invertida.

A través de estas dos consignas es que se controlara el par de embobinado dependiendo del sentido de giro seleccionado.

P2200[3]	BI: Habilitación regulador PID	Min: 0:0	Nivel
EstC: CUT	Tipo datos: U32	Unidad: -	Def: 0:0
Grupo P: TECH	Activo: Tras Conf.	P.serv.rap.: No	Máx: 4000:0
			2

El modo PID permite al usuario habilitar/deshabilitar el regulador PID.

Ajustes para P2200 :

0 : Desactivar regulador PID
1 : Regulador PID permanece activado
Parámetro BICO : Regulador PID controlado por eventos: desactivado/activado

Este parámetro se programó de la siguiente manera:

P2200[0]=0

P2200[1]=1

P2200[2]=0

Con esta programación se deshabilita el control PID en el primer juego de datos y se habilita el control PID en el segundo juego de datos de accionamiento programados en el convertidor. Esto con el fin de usar la realimentación negativa para invertir el sentido de giro del motor.

P2264[3]	CI: Realimentación PID	Min: 0:0	Nivel
EstC: CUT	Tipo datos: U32	Def: 755:0	2
Grupo P: TECH	Activo: Tras Conf.	P.serv.rap.: No	Máx: 4000:0

Selecciona la fuente para la señal de realimentación del PID.

Indice:

P2264[0] : 1er. Juego datos comando(CDS)
P2264[1] : 2do. Juego datos comando(CDS)
P2264[2] : 3er. Juego datos comando(CDS)

Ajustes importantes / frecuentes

Parámetro	Texto de parámetro	Ajuste	Significado
P2200	BI: Habilitación regulador PID	0	Desactivar regulador PID
		1.0	Regulador PID siempre activo
		722.x	Entrada digital x
		BICO	Parámetro BICO
P2251	PID mode	0	PID como consigna
P2253	CI: Consigna PID	2224	Consigna fija PID (PID-FF)
		2250	PID-MOP
		755.0	Entrada analogica 1
		2015.1	USS con.BOP
		2019.1	USS con.COM
P2264	CI: Realimentación PID	2050.1	CB con.COM
		755.0	Entrada analogica 1
		755.1	Entrada analogica 2

Este parámetro se ajustó en 755.0. Con el fin de establecer como fuente de señal de control la entrada analógica uno.

P2271	Tipo de transductor PID	Min: 0	Nivel
EstC: CUT	Tipo datos: U16	Def: 0	2
Grupo P: TECH	Activo: Inmediato	P.serv.rap.: No	Máx: 1

Permite al usuario seleccionar el tipo de sensor para la señal de realimentación PID.

Posibles ajustes:

0 Deshabilitado
1 Invers. señal realimentación PID

Este parámetro se ajusto a 1. Es aquí donde se activa la inversión de la señal de realimentación programada en el parámetro P2264.

Como se mencionó al inicio de esta etapa de programación, solo se indicaron los parámetros más importantes para el diseño de la lógica de control vectorial de par sin sensor. Es importante mencionar que para la puesta en marcha del convertidor se revisaron todos los parámetros que el manual del fabricante indica [20]. En totalidad son 3900 parámetros, aunque no todos se encuentran disponibles en el convertidor

empleado, ya que existen diferentes versiones (MICROMASTER 440), esto depende de la potencia que ellos manejen y de la fecha de fabricación.

4.2 Validación de la propuesta implementada.

Luego de realizar la reprogramación correspondiente para el control vectorial de par sin sensor del convertidor de frecuencia que controla la sección secundaria de la máquina de engomado, se realizaron diferentes pruebas, la primera con el fin de determinar si la lógica de control aplicada cumple con las necesidades de mantener la tensión de enrollado constante en el carrete de enrollado; y la segunda, para observar la respuesta del convertidor ante posibles fallas, como lo puede ser la falta la materia prima ocasionando un aumento en la velocidad del carrete o por que se detuvo el proceso de inserción de materia prima y el convertidor detecta que el rotor del motor esta trabado. Se obtuvieron resultados satisfactorios, posteriormente se procedió a realizar mediciones de ciertas variables con las cuales se puede determinar si el funcionamiento de los equipos es el óptimo, con el fin de garantizar un tiempo de vida prolongado para el convertidor y el motor, siempre y cuando no existan fallas externas, que puedan generar daños en estos equipos.

También es importante mencionar que luego de validar la implementación, se constató que el procedimiento que se sigue para realizar el proceso de engomado es mas ágil, dando al operario mayor seguridad y libertad sobre la ubicación que este debe tener para cubrir a totalidad la supervisión del proceso de inserción, acabado y embobinado de la materia prima, sin tener la necesidad de asignar otro operario para el control de la máquina. Así como también, notándose una mejora considerable en la cantidad de material producido por cada hora, llegándose a triplicar la producción semanal en este proceso.

Se midió la temperatura de los motores antes y después de la implementación y se observó que esta disminuyó.

4.3 Mediciones realizadas en el convertidor MICROMASTER 440

Gracias a la colaboración del Ing. Julio Molina Profesor de la Escuela de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Central de Venezuela, se realizaron las mediciones presentadas a continuación con el objeto de verificar el correcto funcionamiento del convertidor de frecuencia.

4.3.1 Tensión de alimentación del convertidor de frecuencia MICROMASTER

440.

Esta medición se realizó justo en los bornes de alimentación del convertidor donde se conectan los cables que vienen del tablero de distribución interno de la empresa.

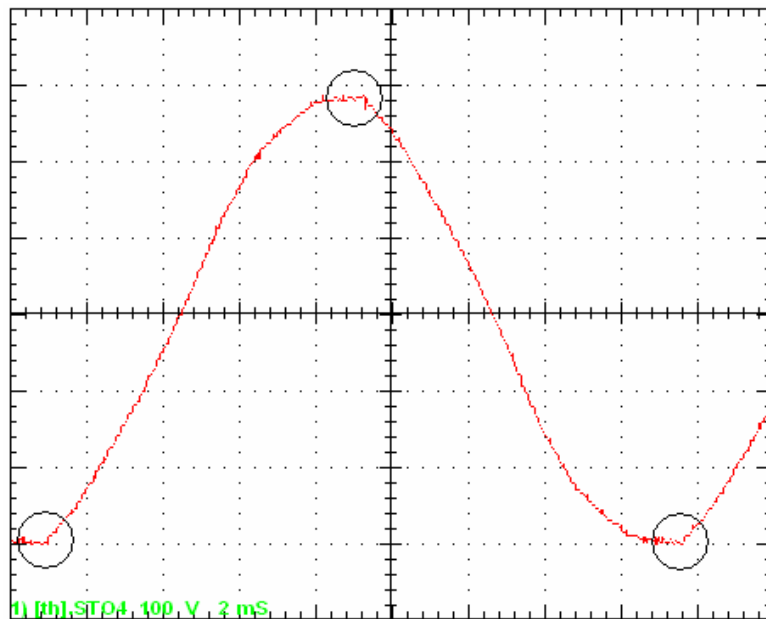


Figura 29. Forma de onda tensión de alimentación del convertidor funcionando.
Escala: Y: 100 v/div X: 2mS/div

Como se puede apreciar en la figura 29, existen discontinuidades en la forma senoidal de la tensión de alimentación, esto se debe a que el convertidor posee un puente rectificador de 6 diodos, es decir 2 diodos por cada fase, de tal forma que justo en el instante en que al menos uno de los diodos, de dos fases cualesquiera este en conducción, se genera una discontinuidad en la forma de onda de la tensión de alimentación del equipo. Es importante mencionar que cuando el equipo se encuentra operando a plena carga estas discontinuidades son mayores y por ende los encargados de suministrar esa falta de energía serán los capacitores que se encuentran en la etapa de inversión.

4.3.2 Corriente de entrada al convertidor de frecuencia.

Esta medición se realizó en una de las fases de alimentación del convertidor de frecuencia.

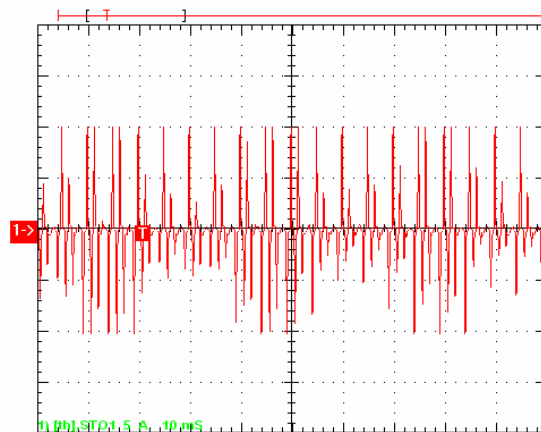


Figura 30. Forma de onda de al corriente consumida por el convertidor a 1/3 de la carga.
Escala: Y: 5 A/div X: 10 mS/div

Como se observa en la figura 30, la forma de onda de la corriente consumida, se obtuvo cuando el convertidor se encontraba funcionando con 1/3 de la carga total del motor. La presencia de estos picos se debe a que una gran mayoría de los

componentes que conforman el convertidor son condensadores los cuales generan estos picos de corriente en cada fase de carga y descarga.

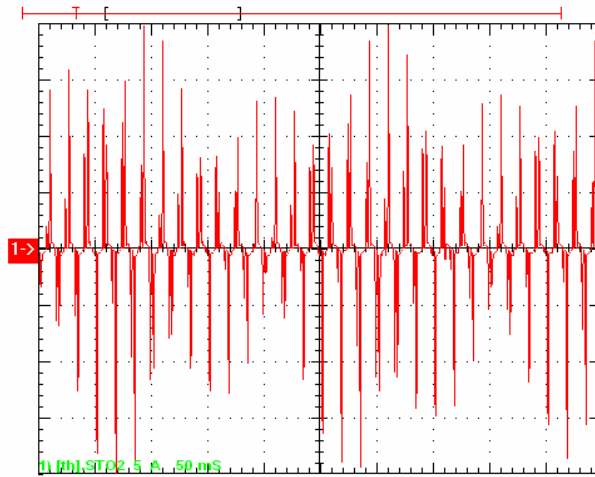


Figura 31. Forma de onda de al corriente consumida por el convertidor a 1/2 de la carga.
Escala: Y: 5 A/div X: 50 mS/div

Se aprecia que la forma de onda es igual en las dos graficas, lo que cambia es la magnitud de la corriente consumida dependiendo de la carga conectada.

4.3.3 Corriente consumida por el motor.

Medición realizada aproximadamente a la mitad de la carga total que el motor puede manejar.

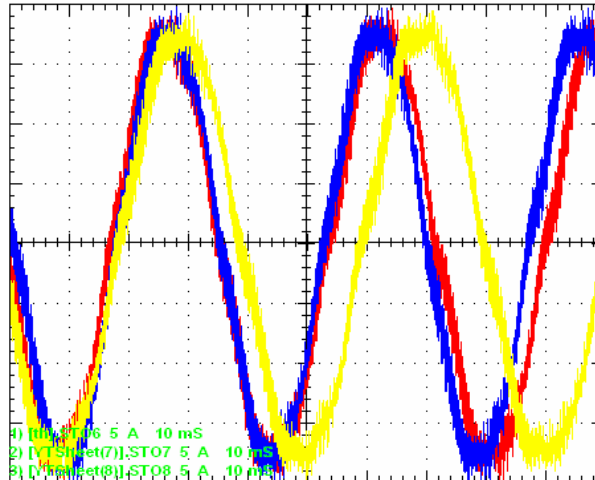


Figura 32. Forma de onda de la corriente consumida por el motor a 1/2 de la carga.
Escala: Y: 5 A/div X: 10 mS/div

En la figura 32, se aprecian 3 diferentes formas de ondas, en realidad es la misma onda capturada en diferentes instantes de tiempo, esto se realizó con el fin de demostrar que la amplitud de la corriente permanece constante sin importar la carga conectada al motor, lo que varía es la frecuencia de la misma con el fin de realizar el control de par constante mediante la variación de la frecuencia. Como se puede notar esta onda no es senoidal pura, tal como lo indican en las características del convertidor.

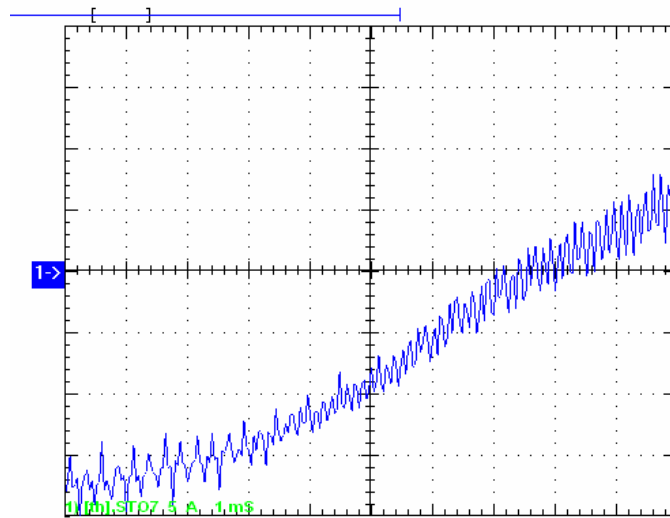


Figura 33. Forma de onda de al corriente consumida por el motor.
Escala: Y: 5 A/div X: 1 mS/div

Dicha onda es generada a través de un sin fin de impulsos de diferentes magnitudes (ver F.33), para luego obtener una envolvente que asemeje a una onda sinusoidal gracias al comportamiento de elementos inductivos (ver F.32).

A continuación se realiza un abreve descripción del funcionamiento del circuito que se emplea en estos sistemas de convertidores.

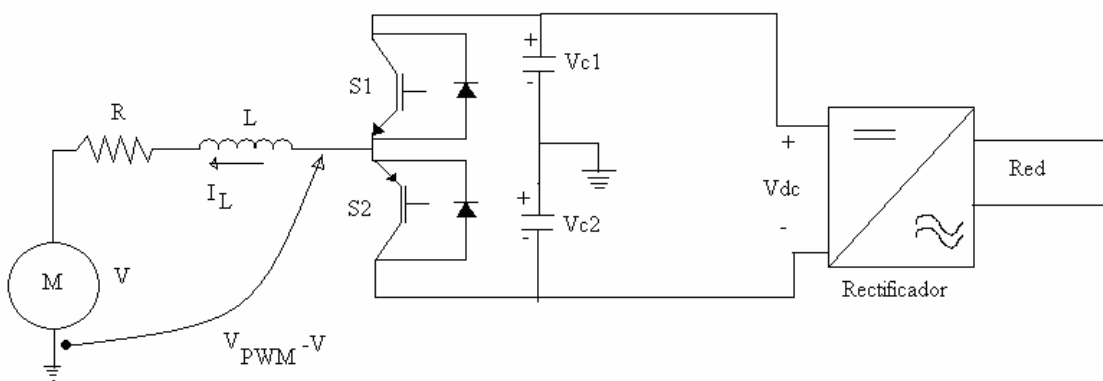


Figura 34. Esquema monofásico de un convertidor de frecuencia.

Si los condensadores están cargados

$$V_{c1} \approx V_{c2} = \frac{V_{dc}}{2} \quad (1)$$

Y S1 ó S2 esta conduciendo asumimos $R=0$, tenemos que:

$$V_{PWM} - V = L \frac{dI_L}{dt} \quad (2)$$

Despejando $\frac{dI_L}{dt}$ conseguimos que:

$$\frac{V_{PWM} - V}{L} = \frac{dI_L}{dt} \quad (3)$$

La derivada de una función en un punto es la pendiente de la tangente, entonces si S1

conduce y S2 está abierto tenemos que $V_{PWM} = \frac{V_{dc}}{2}$, en caso contrario si S2

conduce y S1 está abierto tenemos que $V_{PWM} = \frac{-V_{dc}}{2}$.

Entonces la pendiente depende del signo de V_{PWM} siempre y cuando $V_{PWM} > V$, es importante mencionar que el componente que influye en que la forma de onda se asemeje a una senoide es el inductor, ya que este se opone a los cambios bruscos de corriente.

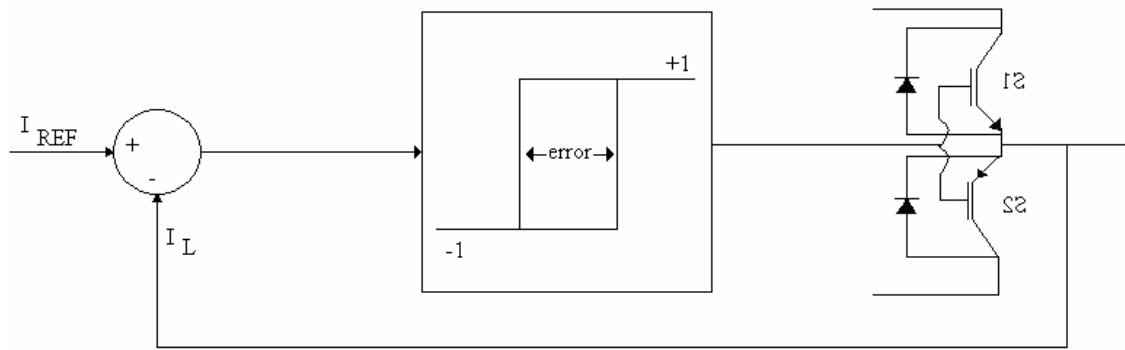


Figura 35. Diagrama de control de los IGBT.

En la figura 35, se representa el esquema de funcionamiento de la etapa de disparo o activación de la compuerta de cada IGBT dependiendo del error medido entre la corriente de referencia y la corriente que circula por el inductor (ver Figura 34).

Es por ello que la forma de onda de la corriente que se observa en las figuras 30 y 31, posee un conjunto de rectas, dichas rectas son consecuencia directa de la alternancia del disparo de S_1 y S_2 .

4.3.4 Voltaje que entrega el convertidor al motor.

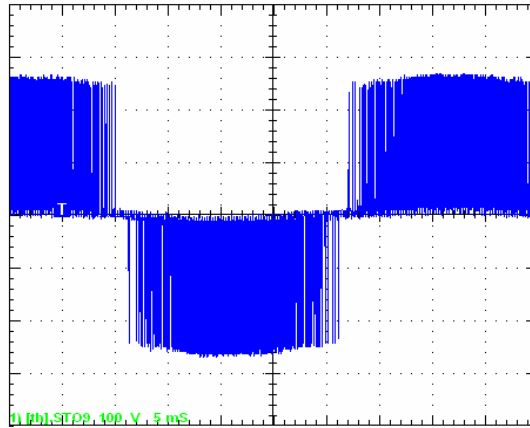


Figura 36. Forma de onda de la tensión entregada al motor.
Escala: Y: 100 V/div X: 5 mS/div

Como era de esperarse la forma de onda de la tensión entregada por el convertidor es cuadrada (ver F.36), en tal sentido se corrobora la información suministrada por el fabricante cuando menciona que la tensión entregada por el convertidor es controlada a través de un modulador de ancho de pulso (PWM), es por ello que si se reduce la escala de tiempo se aprecian que la onda cuadrada esta conformada por pulsos que se aprecian en la figura 37.

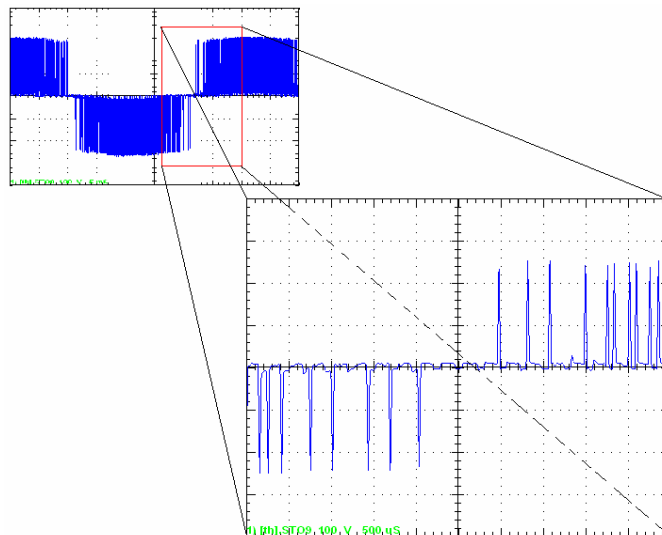


Figura 37. Forma de onda de la tensión entregada al motor.
Escala: Y: 100 V/div X: 500 μ S/div

CONCLUSIONES

Los convertidores de frecuencia son una excelente alternativa para controlar la velocidad o el par de los motores de inducción. Cuestión que hoy en día es imprescindible en muchas industrias. Permitiendo que los procesos de control se adapten fácilmente a cualquier variación de la demanda, lo que contribuye a reducir costos y a mejorar la calidad de los productos.

En esta necesidad de mejorar la calidad y tiempo de acabado del producto elaborado en la empresa Telares Caroni C.A., se propusieron diferentes soluciones y en el desarrollo de este trabajo se estudió la factibilidad de las mismas.

En el caso de implementar un potenciómetro con el fin de medir el diámetro del carrete, se observó que, debido al entorno de trabajo este tipo de solución no es la mas indicada ya que se requiere de robustez en los elementos de contacto con el carrete, debido a su tamaño, peso y manipulación en la instalación y extracción del carrete de enrollado.

En el caso de implementar un cuenta vueltas, se debe tener en consideración el tipo de material al que se le está dando el acabado, por tal motivo se estaría restringiendo el uso de la máquina, lo cual ocasionaría pérdidas en la empresa cuando se requiera desarrollar un nuevo producto con diferente configuración física.

En el caso cuando se detecta la presión ejercida sobre un rodillo a través de las galgas, se obtendría una medición directa de la tensión ejercida sobre el producto a ser embobinado. La limitante en esta implementación fue el espacio físico donde se deberían instalar las galgas, así como también el tipo de soporte, el cual no es rígido,

trayendo como consecuencia una medición incorrecta y deterioro de los cables que conectan las galgas con el sistema de control.

En el caso de los sensores de distancia, se observó que para este tipo de sensores existen una gran cantidad de limitantes en su implementación, para sensores por infrarrojo el color de la tela es de vital importancia, cuando se empleen sensores láser no debe existir nubosidad, y por ultimo con los sensores inductivos requieren de una superficie bastante densa para ejecutar la medida, por tal motivo en este tipo de aplicación en empresas textiles no se podría emplear estos tipos de sensores.

Con el uso de los convertidores de frecuencia, se suavizan los cambios de velocidad reduciendo la fatiga de los mecanismos, evitando una gran cantidad de problemas. Así como también en otros casos puede interesar optimizar el par y alcanzar la máxima aceleración que soporta el motor, como lo es en nuestro caso, donde empleamos un convertidor de frecuencia debidamente programado para control del par de enrollado, logrando una tensión y velocidad tangencial constante sin importar el espesor del producto ni el diámetro del carrete, aumentando la producción en 300 % con una mejora considerable en calidad del producto final. Por otro lado se mejoró considerablemente la temperatura de funcionamiento del motor que acciona la sección secundaria, ya que dicho motor no esta sometido a sobrecargas debido al cambio en el diámetro del carrete de enrollado.

Como conclusión principal se logro el aumento de la vida útil de la maquina, así como también la reducción de materia prima defectuosa y la disminución de horas hombre invertidas solo para el control del proceso de engomado.

RECOMENDACIONES

- Colocar un sistema de ventilación forzada en el tablero donde se encuentran instalados los convertidores de frecuencia.
- Instrumentar la medición del tensado del producto entre la sección primaria y secundaria.
- Instrumentar la medición de la tensión de los productos a ser embobinados.
- Colocar luz de señalización, donde se indique el sentido de giro del carrete.
- Especificar en las ordenes de trabajo el nivel de tensado a dar en el producto.
- Sustituir los potenciómetros actuales, por potenciómetros calibrados.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] B.K Bose (Ed.). Power Electronics and Variable Frequency Drives. Technology and Applications. IEEE Press, ISBN 0-7803-1084-5, 1996.
- [2] P.Thorgersen, F.Blaabjerg. Adjustable Speed Drives in the Next Decade. Future Steps in Industry and Academia. Journal of Electric Power Components and Systems, Vol. 32, No. 1, 2004, pp. 13-32.
- [3] J. Mario Pacas. Future trends in motion control. PCIM Europe 12/2000, pp. 18-21.
- [4] F. Blaabjerg, R. Villafáfila, P. Thøgersen, S. Galceran. Convertidores de Frecuencia: retos y aplicaciones futuras. Revista de Electrónica de Potencia Automática e Instrumentación, No. 361, Abril 2005. pp.2-7.
- [5] Díaz Rodríguez, Jorge L. Estrategias avanzadas de control en accionamientos de corriente alterna. Red internacional de Control Automático (RED IDCA). <http://www.control-automatico.net/index.html>, Fecha de consulta: 30 de Mayo de 2007.
- [6] Sica News. Control y Regulación de la velocidad en motores asincrónicos trifásicos/2002., <http://www.paginadigital.com.ar/articulos/2002rest/2002terc/tecnologia/sica71.html> Fecha de consulta: 1 de Junio de 2007.
- [7] Cepeda Q., Alexander D., Modelación del motor de inducción en componentes YH KU para su aplicación en control de par por orientación de campo. Tesis Msc. Universidad Central de Venezuela. Febrero de 2001.
- [8] Martínez P. Francisco j. Control Vectorial de Máquina Asíncronas y Síncronas. (Publicación). Universidad de la Rioja. Junio 2000.
- [9] Attaianese C., Nardi V., Perfecto A., Tomasso G., Vectorial Torque Control: A Novel Approach to Torque and Flux Control of Induction Motor Drives. IEEE Transaction on Industry Applications, Vol. 35, No. 6, November/December 1999.

- [10]Salas P, Oscar. De León M, Jesús., Controles por retroalimentación de salida para motor de inducción sin sensores mecánicos. Ciencia UANL Monterrey México, Octubre/ diciembre, año/Vol. IX, No. 004.
- [11]Siemens Región Andina [en línea], [http://www.siemens.com.co/ SiemensDotNetClient_Andina/medias/PDFS/13.pdf](http://www.siemens.com.co/SiemensDotNetClient_Andina/medias/PDFS/13.pdf). (Fecha de consulta: 25 de Marzo de 2007).
- [12]Mujal R, Ramón. Motor Asíncrono Trifásico con Rotor de Chapas En Espiral. Capítulo VIII. Respuesta de los Motores con Control Directo de Par. (Tesis Doctoral).
- [13]WEST POINT FOUNDRY & MACHINE COMPANY. (En línea) www.westpoint.com. Fecha de consulta: 20 de Marzo de 2007.
- [14]Entrevista realizada al Técnico Superior Universitario. Gabriel Peraza de la compañía Electrónica Gabor C.A. Abril 2007.
- [15]Entrevista realizada al Ingeniero. Elías Salame de la compañía Instalaciones y Repuestos Salame C.A. Abril 2007.
- [16]Siemens Región Andina [en línea], <http://www.siemens.com.co>, Abril 2007.
- [17]Siemens Región Andina [Teléfono], 0800-100-5080, Sr. Jorge Rojas. Febrero-Mayo 2007.
- [18]SICK Sensor Intelligence [en línea], <http://www.sick.com/home/en.html>, Febrero 2007.
- [19]SICK Sensor Intelligence [en línea], <http://www.mysick.com/partnerPortal/eCatalog.aspx?c=1&go=Finder&Cat=ow&At=Fa&Cult=English&Category=Applikationsfinder>, Febrero 2007.
- [20]Siemens [en línea], Lista de parámetros del MICROMASTER 440. <http://support.automation.siemens.com/WW/llisapi.dll?func=cslib.csinfo&lang=en&objID=10804928&subtype=133300>.
- [21]Siemens [en línea], Instrucciones de uso Micromaster 440.<http://support.automation.siemens.com/WW/llisapi.dll?func=cslib.csinfo&lang=en&objID=10804928&subtype=133300>.

ANEXOS

Anexo A. Especificaciones del convertidor MIDIMASTER.

Anexo B. Especificaciones del convertidor MICROMASTER 440.

Anexo C. Esquema del control vectorial de par sin sensor.

Anexo D. Especificaciones del sensor láser DT 500.

Anexo E. Especificaciones del sensor por ultrasonido modelo BERO.

Anexo D. Programación completa del convertidor MICROMASTER 440.