

MODELADO DE BOBINADORA OPERANDO A TENSIÓN CONSTANTE

Carlos González-Arredondo¹, Pedro Martín Armendáriz-Mancinas,
Carlos X. Santoyo-Parroquín, David Sáenz-Zamarrón, Nancy Ivette Arana-de-las-Casas
Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Cd. Cuauhtémoc
Maestría en Ingeniería
Av. Tecnológico No. 137, Cuauhtémoc, Chih. México. C.P. 31500
52 (625) 581 1707
carlos351.cg@gmail.com

RESUMEN

El proceso de bobinado de material flexible está presente en muchas aplicaciones como en los laminados de materiales diversos como papel, cartón, tela o metal. El control de la tensión garantiza que no se presenten problemas como arrugas durante la producción, el transporte o almacenamiento. En este trabajo se obtiene el modelo matemático de un prototipo para bobinado de material flexible que permite conocer los parámetros del sistema. Para este propósito se utiliza el System Identification Toolbox de Matlab® para calcular la función de transferencia del sistema en lazo cerrado. El control de la tensión se realiza mediante la celda de carga HX711, un motor DC XYD-6B2 controlado con Arduino por PWM con un sistema de frenado de disco accionado por un servo motor. El modelo obtenido es evaluado contra los datos experimentales con el Control System Toolbox de Matlab®.

Palabras Clave: Modelado, Bobinadora, Tensión.

ABSTRACT

The process of winding of flexible materials is present in many applications such as in the laminates of diverse materials such as paper, cardboard, cloth or metal. The control of tension ensures that problems such as wrinkles do not occur during production, transport or storage. In this work, we obtain the mathematical model of a prototype for flexible material winding that allows knowing the parameters of the system. For this purpose, the Matlab's System Identification Toolbox is used to calculate the closed-loop system's transfer function. The control of tension is carried out by the HX711 load cell, a DC motor XYD-6B2 controlled with Arduino by PWM with a disk braking system driven by a servo motor. The model obtained is evaluated against the experimental data with the Control System Toolbox of Matlab®.

Keywords: Modeling, Winder, Tension.

1. INTRODUCCIÓN

Con la evolución de los procesos industriales se han ido desarrollando controladores que han permitido la automatización de los procesos productivos, estos han permitido la reducción de costos y tiempo en los procesos de fabricación, gracias a ello, los operadores han sido liberados de la actuación física directa en la planta permitiendo a estos enfocarse en funciones más bien indirectas como la supervisión y vigilancia de los procesos. Esto se consigue por medio de un conocimiento detallado del comportamiento dinámico del proceso, incluyendo sus partes críticas.

El control o regulador de un sistema de embobinado, es un problema encontrado en algunos procesos industriales. Estos procesos requieren sistemas que permitan enrollar el material y a la vez controlar y regular la tensión de este.

Se han realizado estudios previos sobre embobinados industriales que toman como mecanismo de tensión el péndulo bailarín [1][2]. En las bobinadoras centrales, la potencia del motor se introduce en el eje central o en el centro del rodillo. Este tipo de bobinadoras son significativamente más complejas. A medida que el material se enrolla, el diámetro (o radio) aumenta y por lo tanto también aumenta la circunferencia si se tiene una velocidad constante MPM (metros por minuto) el motor será forzado a disminuir su velocidad a medida que el rollo se va construyendo, por lo tanto, la unidad de la bobinadora se enfrenta con un torque cada vez mayor y unas revoluciones continuamente decrecientes. Para mantener una tensión constante en una bobinadora central, un motor debe entregar el valor adecuado de torque y las revoluciones correctas en cualquier momento en la acumulación de rollo. El controlador presentado en este trabajo utiliza un mecanismo de bobinado de superficie, la potencia se aplica a la superficie del rodillo de bobinado. Las bobinadoras de superficie normalmente hacen uso de uno o dos tambores sobre los que se enrolla el rollo.

El controlador es un bloque electrónico encargado de controlar el proceso. La planta para controlar es un sistema bobinador accionado por un motor DC, uno de los elementos importantes para el control, es el error, que es el encargado de hacer las compensaciones necesarias para mantener la variable de interés en el valor deseado. En cuanto a la medición de la variable de interés, la tensión, en el bobinador es necesario utilizar una placa con sensor de tensión, de tipo celda de carga con el sensor HX711 IC [3]. El censado, la actuación y el lazo de control se desarrolló en una placa Arduino MEGA [4]. El Matlab con su System Identification Toolbox es usado para modelar el sistema de acuerdo con los datos obtenidos en los experimentos desarrollados con el Arduino.

En este trabajo se describe los elementos que constituyen un sistema bobinador de material flexible desarrollado en la plataforma Arduino y el modelado de este con propósitos de control mediante Matlab.

2. BOBINADORA

La planta a controlar consta de un conjunto de rodillos donde se lleva un proceso de bobinado, ver Figura 1, se lee la tensión del

material con una celda de carga; uno de estos rodillos (rollo madre) contiene el rollo de material origen (parte izquierda), luego el material pasa por la celda de carga colocada en un rodillo en la parte central, finalmente el material se enrolla en un rodillo destino o rodillo hijo (parte derecha), el cual está conectado a un motor de DC que impulsa el movimiento. Se controla la tensión del embobinado por medio de un freno de disco, que está ensamblado al rollo madre, el freno es accionado con un servo motor. Con estos componentes se monitorea el comportamiento del sistema ante diferentes tensiones de referencia, de manera que se pueda hacer un análisis de la respuesta dinámica y de estado estable, cuando el sistema está en operación; también es importante observar la respuesta del sistema ante eventuales perturbaciones. El motor de DC que está en el extremo derecho opera a velocidad constante. En la Figura 1 se presenta el bosquejo de la planta a identificar, se observa la parte de lectura de la tensión (celda de carga) y el sistema de frenado con disco, el elemento de control del sistema.

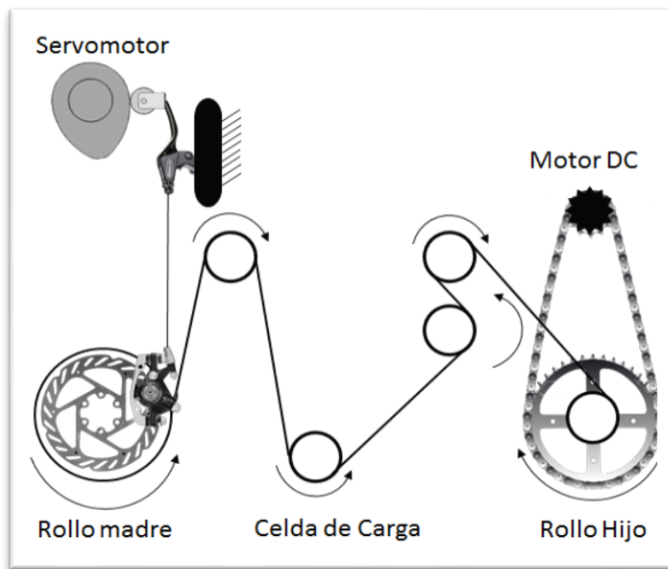


Fig 1. Bosquejo de la planta.

La estructura del prototipo consta de una base rectangular de madera, que sirve de soporte mecánico para los dispositivos electrónicos de sensado, control y potencia, ver Figura 2. En la parte central del mecanismo, se alza una columna de 200 mm de alto, en su parte media superior se instaló el sistema de frenado de disco. La Figura 2 muestra el prototipo construido.

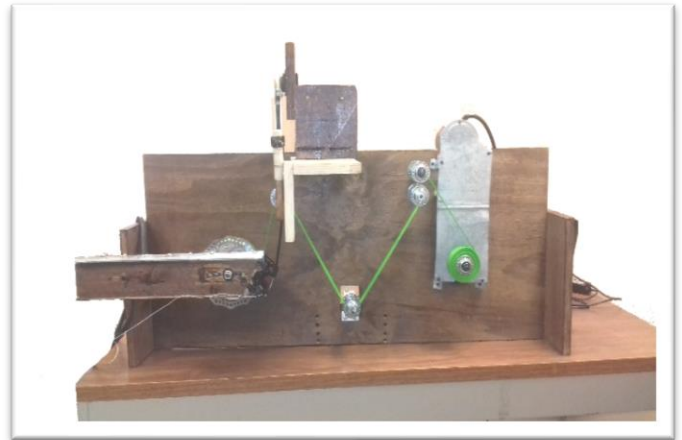


Fig 2. Prototipo Real Realizado.

En la parte eléctrica, el motor es de corriente directa, opera a 12 VDC, a este motor se le controla la velocidad mediante un driver MOSFET IRF1404 N [5], manipulado por una señal PWM provenientes del Arduino.

La parte electrónica la constituye la plataforma Arduino MEGA con el microcontrolador ATmega2560; este ofrece buenas prestaciones a un costo bajo con buena velocidad de captura de datos y con comunicación serial. Esto permite la creación de una interfaz de comunicación sencilla entre el software y hardware.

2.1 Motor de Bobinado

El motor de bobinado es un motor de corriente directa sin escobillas con voltajes de 12 V a 24 V que trabaja hasta 2600 rpm y ofrece un torque de 0.93 Nm [6], este permite mantener una velocidad constante a través del proceso. El eje del motor se conecta a un engrane estrella que transmite la fuerza mediante una cadena de transmisión por sistema de piñón libre.

2.2 Celda de Carga

La celda de carga de barra recta puede traducir hasta 10 kg de presión en una señal eléctrica. La celda de carga puede medir la resistencia eléctrica que cambia en respuesta proporcional a la tensión aplicada a la barra. Con este sensor se puede decir cuán pesado es un objeto, si el peso de un objeto cambia con el tiempo, o si simplemente se necesita percibir la presencia de un objeto, midiendo la tensión o carga aplicada a una superficie, la celda está hecha de una aleación de aluminio. Un rodillo está añadido a la celda para tener mínima fuerza de fricción como se muestra en la Figura 3.

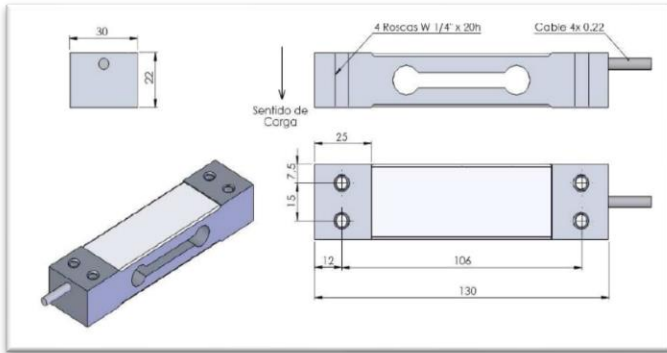


Fig 3. Celda de Carga.

El amplificador de celda de carga es una pequeña placa electrónica HX711 IC que le permite leer fácilmente las celdas de carga para medir el peso. Al conectar el amplificador al micro controlador, se podrá leer los cambios en la resistencia de la celda de carga por medio de la librería de Arduino HX711.h.

2.3 Sistema de frenado

El control de la tensión se realiza con un sistema de frenado de disco que está instalado sobre el rollo principal. El sistema consiste en un rotor el cual se fija a la maza generalmente por medio de tornillos y una pinza o mordaza (cáliper) con dos pastillas de fricción que al accionarse presionan ambas caras del rotor con accionamiento mecánico (por medio de chicote) [7]. Se diseñó un prototipo de leva de disco de perfil plano [7] instalada sobre un servo motor que permite girar desde 0 hasta 90°. La Figura 4 muestra el diseño de la leva y la Figura 5 el modelo físico de la leva aplicado al mecanismo de frenado.

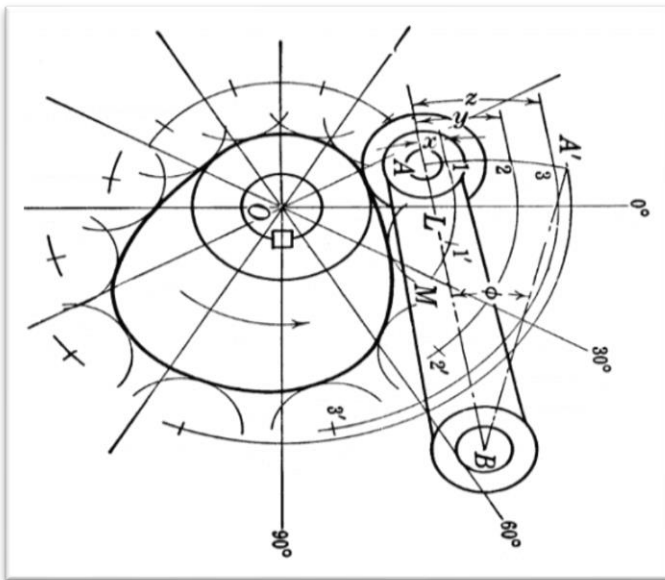


Fig 4. Diseño de Leva Plana o Disco.

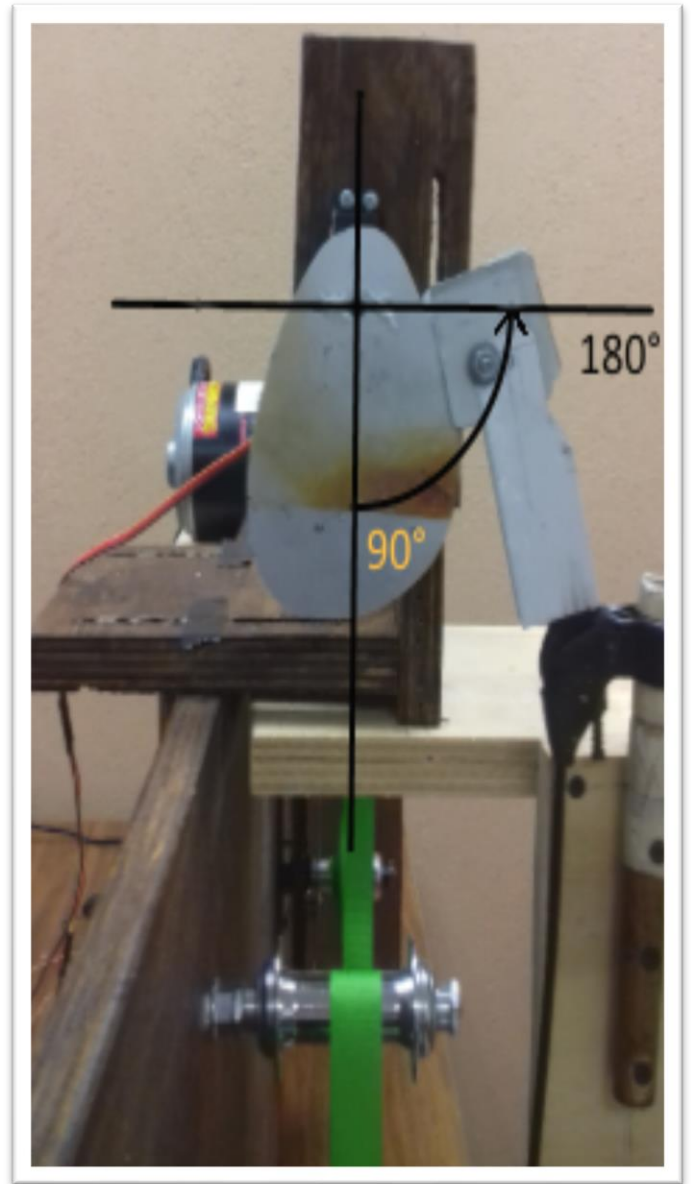


Fig 5. Diseño físico de Leva de frenado.

2.4 Componentes electrónicos

El sistema electrónico consta de un microcontrolador Arduino Mega que lee la señal enviada por el amplificador HX711 que está conectado a la celda de carga, un motor DC XYD-6B2 está conectado en serie con el MOSFET IRF1404 canal N el cual es activado por la salida PWM generada por el microcontrolador, dicho elemento permite controlar el ciclo de trabajo para gobernar la velocidad del motor, un servomotor MG995 [8], con torque 15 Kg/cm y 5 VDC permite manipular los grados de la leva actuadora del freno, esto se observa en la Figura 6.

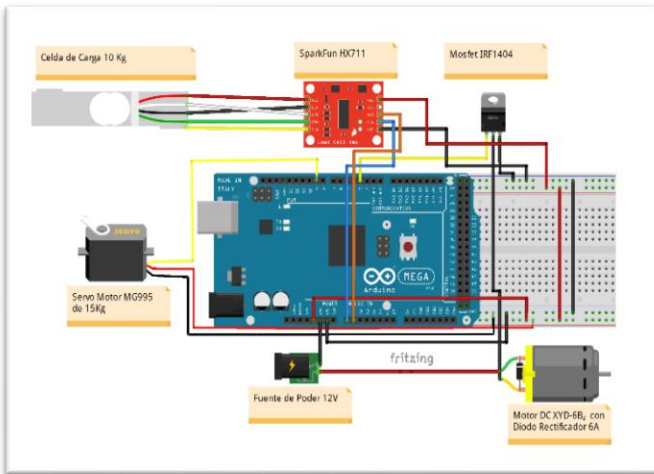


Fig 6. Prototipo electrónico.

3. MODELADO DE LA PLANTA

La identificación del sistema consiste en un método experimental que permite obtener el modelo de un sistema a partir de datos reales recogidos de la planta bajo estudio en lazo cerrado, ver Figura 7.

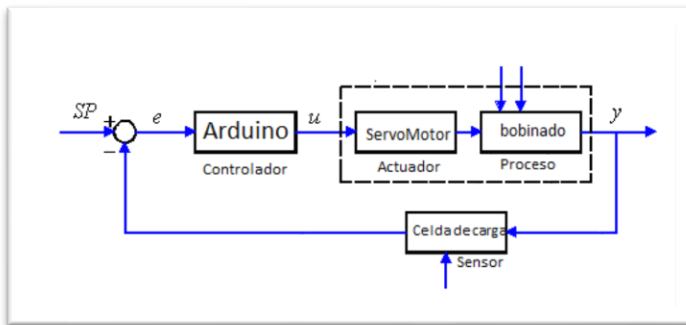


Fig 7. Lazo de control retroalimentado

- SP variable de referencia
- u señal de control
- y variable controlada
- e error actuante

El Proceso de Identificación se enfoca en el modelado de sistemas dinámicos a partir de datos experimentales.

Etapas de la Identificación:

- a) Obtención de Datos de Entrada - Salida.
- b) Tratamiento Previo de los Datos Registrados.
- c) Elección de la Estructura del Modelo.
- d) Obtención de los Parámetros del Modelo.
- e) Validación del Modelo.

El proceso de identificación se considera un proceso iterativo, que, dependiendo de la causa estimada, deberá repetirse desde el punto correspondiente.

Los datos obtenidos en los distintos experimentos se almacenan en un archivo de Excel. Matlab dispone de la capacidad de importar este tipo de datos. Una vez abiertos estos datos, se pueden configurar de la forma en la que sea más conveniente para el Matlab. La opción elegida es crear un vector por cada columna usando el nombre de columna. Una vez que se tienen las variables de salida en el espacio de trabajo (Workspace), se crea un vector por cada entrada. Como el usuario es el que modifica las entradas manualmente en los ensayos, conoce los valores en el tiempo y sólo hay que crear los vectores. Una vez hecho esto se tiene todos los datos necesarios para la identificación. En la Figura 8 se muestra la interfaz Matlab para la identificación.

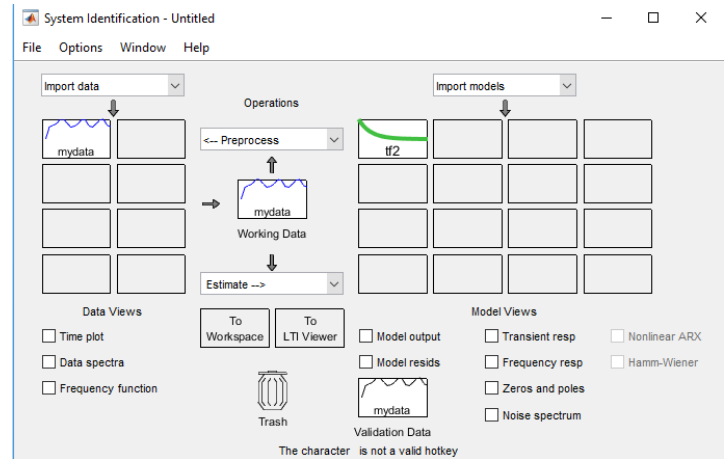


Fig 8. Interfaz de System Identification Toolbox.

Como se aprecia en la Figura 9, en el campo Input se introducirá el nombre de la variable de entrada y en Output el de la salida. Se puede seleccionar el instante de comienzo y el tiempo de muestreo.

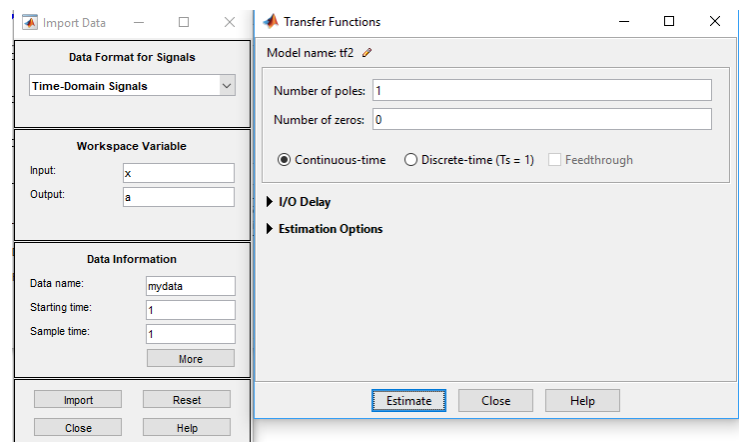


Fig 9. Importación de Datos.

3.1 Identificación del Modelo de la Planta

La manera de capturar los datos reales fue mediante el experimento de hacer una corrida de la planta enrollando una

cinta de listón de tela de 50 mts de 1 pulgada de ancho, se adquieren los datos de *setpoint* de tensión deseada siendo 110 gramos de fuerza, se leen datos de 19 muestras subsecuentes arrojadas por la celda de carga, se importan y procesan en el Matlab con el System Identification Toolbox; siendo x un vector con el número de muestras y a un vector que contiene las mediciones de cada muestra, a 1 polo y 0 zeros y se obtuvo la estimación de la Figura 10.

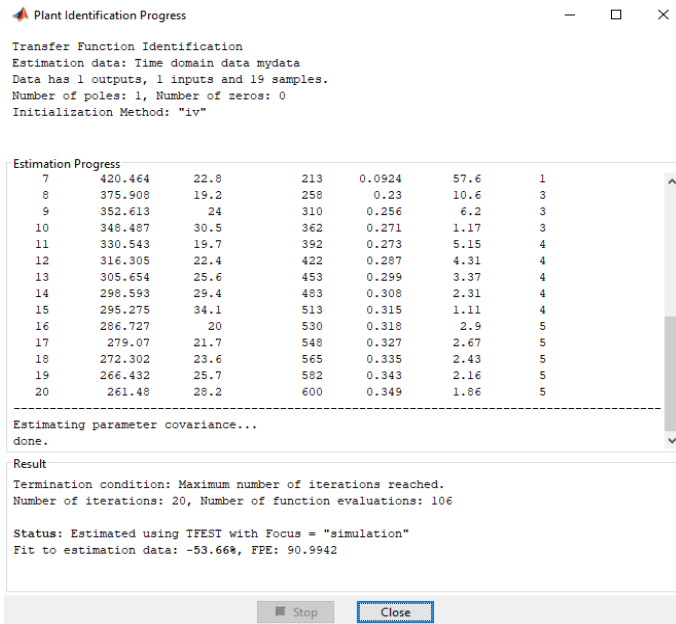


Fig 10. Proceso de estimación de la señal.

El siguiente paso fue transferir la Función Transferencia obtenida al Workspace de Matlab, y analizarla aplicándole la función Step y revisar su comportamiento como se puede apreciar en las Figuras 11, 12 y 13.

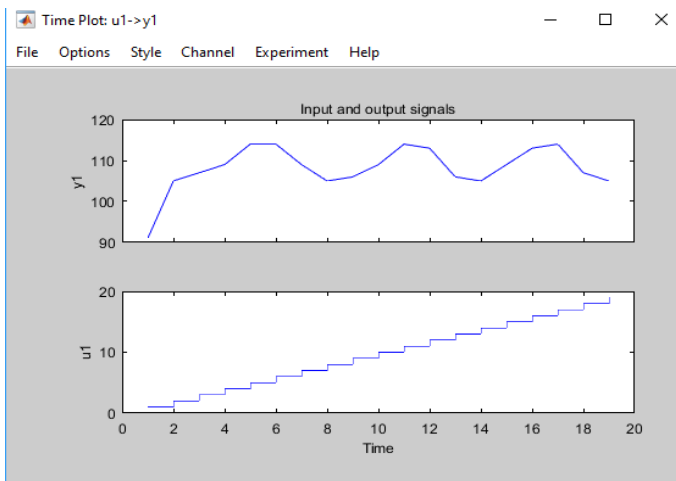


Fig 11. Comportamiento de la señal.

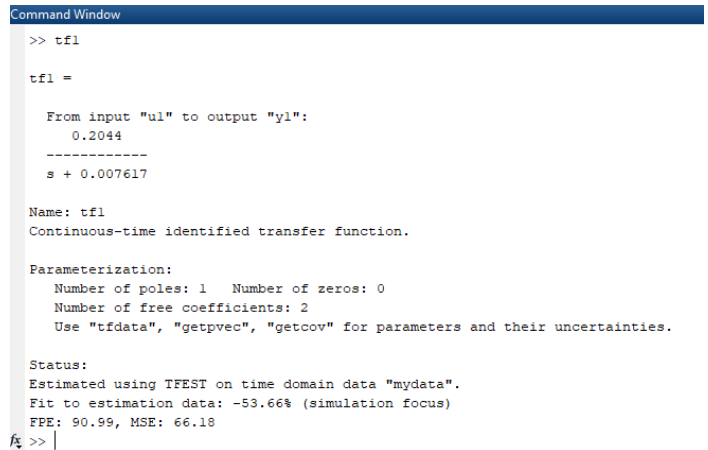


Fig 12. FT resultado de la estimación del Ident.

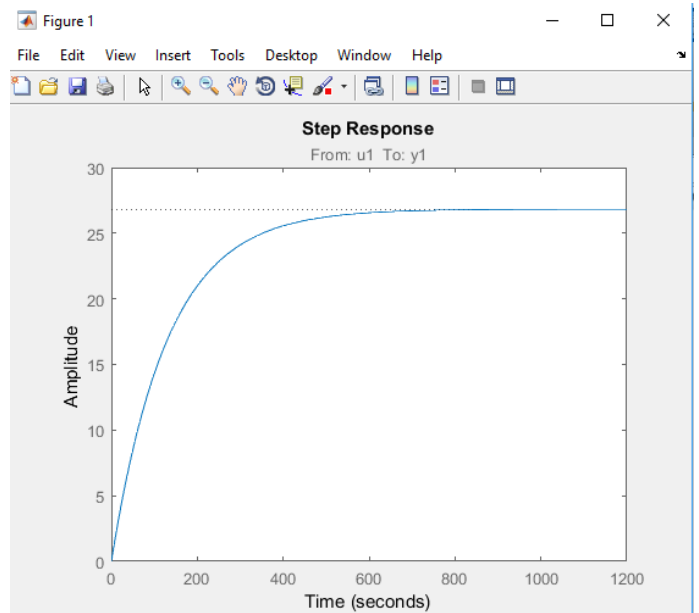


Fig 13. Respuesta después de aplicar función Step.

3.2 Método

Para poder hacer uso de objetos de tipo servomotor de frenado y del amplificador de la celda de carga se instalaron las cabeceras *Servo.h* y *HX711.h* en la sección de directivas del procesador y como declaraciones globales se crearon los objetos *myservo* y *motor*. La toma de lecturas y el reloj del amplificador de la celda de carga se realizaron mediante la conexión al pin analógico A0 y A1. El control del motor de bobinado se realizó mediante la conexión al pin 3 de salidas PWM. La entrada de lectura de los grados del servomotor de frenado se realizó mediante la conexión al pin 9 de PWM. Las variables que se utilizaron fueron: grado inicializado a 90 grados y la variable motor definida en el pin 3, la variable *rt* contiene el *setpoint* para la prueba se inicializo a 600 gramos y *rtg* es el *setpoint* en gramos multiplicados por 100 para tomar valores enteros. La variable *ut*

que lee las lecturas de la balanza, la variable *utg* es la lectura de la balanza en gramos multiplicada por 100 para tomar valores enteros, las variables *rts* y *uts* son los grados que han sido mapeados por los gramos de las variables *rtg* y *utg* y la variable error.

4. RESULTADOS

Se construyó el prototipo dando como resultado la planta que muestra la Figura 2 y sobre la cual se instrumentaron los equipos para tomar datos y poder procesarlos con el software Matlab.

Se tuvieron dificultades con el voltaje contra electromotriz del motor de DC en las primeras pruebas cuando se presentaba una desaceleración fuerte que sobrepasara los 8 Amps del diodo rectificador de protección dañando al Mosfet, el cual fue superado probando a una sola velocidad de procesamiento evitando bajarlo bruscamente mientras está corriendo el motor.

Se consiguió modelar un proceso de bobinado que permite enrollar material flexible en condiciones de tensión constante de forma continua con longitud limitada por medio de un sistema económico, que de manera coordinada operan sus diferentes componentes para lograr tal funcionalidad.

La caracterización de la planta se realizó con pruebas experimentales proporcionando los datos necesarios para obtener el modelo matemático. Así, dadas diferentes tensiones de consigna, la experimentación muestra buenos resultados cuantitativos. Los resultados fueron muy próximos a los reales, teniendo en cuenta que el modelo representa una simplificación de la realidad y que la planta se ve influida por las condiciones muchas veces desconocidas, entre ellas el freno. Por lo que la Planta se seguirá mejorando para que sirva para probar algoritmos de control.

5. CONCLUSIONES

Se construyó una máquina bobinadora, se identificó y se caracterizó utilizando los Toolboxes de Matlab, con estos resultados se conoce la dinámica del sistema y esto permitirá seleccionar el algoritmo de control apropiado para el sistema modelado. La implementación de este sistema para censar y ajustar la tensión del material a ser bobinado mejora grandemente la calidad, presentación y transporte de los rollos procesados, al evitarse que queden flojos y se suelte el material o por el contrario que se revienten por quedar excesivamente apretados. Para las industrias textiles y papeleras tales mejoras podrían tener muchas aplicaciones por ejemplo al automatizar un proceso con este método, el operador tendría tiempo para revisar otras variables y las características del producto se podrían estandarizar. La calidad del producto se considera mejorada cuando existe una menor cantidad de superposiciones o arrugas durante el embobinado y cuando hay menos roturas del material en la bobina. La compra e instrumentación con materiales de grado Industrial se puede realizar por partes, resultando en costos menores a los sistemas ofrecidos por compañías establecidas y se ganaría mucho en confiabilidad del producto. Como trabajo futuro para este sistema se desea mejorar el sistema de actuador

de freno porque el servo a veces no tensiona de la misma forma al cable del freno y esto impacta la repetibilidad del experimento. También se pretende desarrollar una interfaz gráfica que muestre las RPMs del motor de arrastre, la longitud del material bobinado y el valor de tensión que está leyendo en forma continua integrada en el prototipo para poder generar un reporte de características del material procesado.

Agradecimientos

Los autores agradecen a PONDERCEL S.A. de C.V. de Anahuac, Chihuahua por las facilidades otorgadas a este proyecto.

6. REFERENCIAS

- [1] L. Federlin, D. Knittel, M. Boutaous, P. Bourgin, M. Loesch, B. Muller. Modeling and Tension Control of an Industrial Winder with Dancer Mechanism. *IFAC Proceedings Volumes*. Volume 37, Issue 15, pg. 251-256. September 2004.
- [2] <https://www.dynamatic.com/pdfs/tension-control-winder.pdf>
- [3] https://cdn.sparkfun.com/datasheets/Sensors/ForceFlex/hx711_english.pdf
- [4] <https://store.arduino.cc/usa/mega-2560-r3>
- [5] <http://www.irf.com/product-info/datasheets/data/irf1404.pdf>
- [6] <https://www.scooterpartscatalog.com/currie-electric-motor-120-58.html>
- [7] Guillete. Cinemática de las Máquinas México, Compañía editorial Continental S.A. de C.V. 1967.
- [8] <https://www.towerpro.com.tw/product/mg995/>