 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

TARJETA DE ADQUISICIÓN DE DATOS Y CONTROL PARA BANCO DE SIMULACIÓN DE TURBINA EÓLICA

Andrés Felipe Arias Arcila

Ingeniería Mecatrónica

Directores del trabajo de grado:

Elkin Edilberto Henao Bravo

Julián Peláez Restrepo

INSTITUTO TECNOLÓGICO METROPOLITANO

Junio de 2018

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

RESUMEN

En el laboratorio de ETI de Parque i se hizo un banco de pruebas con un aerogenerador real y para simular el movimiento generado por el viento, se le acoplo un motor DC. El objeto de este trabajo consiste en comunicar este banco de pruebas con un computador y poder controlarlo.

Para comunicar el banco con el computador, se utilizó una tarjeta Arduino UNO. La metodología consistió en acondicionar la señal de control de velocidad del motor. De la tarjeta Arduino sale una señal PWM que ingresa como un nivel DC al driver del motor luego la medida de velocidad que sale del encoder en forma de frecuencia, es convertida en un nivel DC para ser leída por el Arduino. También la señal que sale del torquímetro se filtra antes de ingresarla al Arduino para disminuir el ruido. Al terminar la etapa de hardware, se empezó a trabajar con el software. Para esto se hizo uso de Matlab y LabVIEW ya que estos se comunican fácilmente con la tarjeta Arduino. Se hicieron las funciones en Matlab para escribir velocidad del motor y leer velocidad y torque. En LabVIEW se hizo una interfaz gráfica donde se pueda imponer una velocidad al motor, y se pueda leer en tiempo real la velocidad real del aerogenerador y el torque producido en el acople motor-generator. Los resultados muestran que la velocidad del eje mecánico del acople motor-generator alcanza la velocidad de referencia impuesta desde el computador en 800ms aproximadamente.

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

RECONOCIMIENTOS

Como este producto es para el laboratorio ETI de parque i, todos los integrantes del laboratorio me apoyaron de una manera u otra en la realización de este proyecto. Pero debo agradecer en particular a Julián Peláez y a Elkin Henao como asesores del trabajo por su paciencia y constante apoyo frente a las dudas que se presentaron en el transcurso de la elaboración del proyecto. También agradezco a Pablo Villegas por su asesoramiento en la elaboración del informe y su completa disposición a ayudar en las dudas técnicas que se presentaron. A Santiago Acevedo por la realización de la placa PCB y su disposición a ayudar en diferentes temas técnicos. Por último, le agradezco al profesor Santiago Vargas por aportarme los conocimientos básicos sobre maquinas eléctricas y darme ideas sobre cómo tratar las señales a ser medidas en este proyecto.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

ACRÓNIMOS

- *ADC* Conversor análogo digital
- *DAC* Conversor digital análogo
- *PWM* Modulación por ancho de pulso
- *COM* Puerto de comunicación serial
- *DAQ* Tarjeta de adquisición de datos
- *ETI* Laboratorio de Electrónica Telecomunicaciones e Informática

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	6
2. MARCO TEÓRICO.....	8
3. METODOLOGÍA.....	13
4. GUIA DE USUARIO	21
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	25
6. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO	33
REFERENCIAS	34

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

1. INTRODUCCIÓN

En todo proceso de generación de energía, siempre se busca extraer la máxima cantidad de potencia en cada punto de operación del sistema, y la generación de energía eléctrica con turbinas de viento no es la excepción. Por esto, actualmente existen líneas de investigación que estudian nuevas técnicas de control que permiten la máxima extracción de energía de estos sistemas.

A la hora de investigar acerca de la generación de energía con turbinas de viento, se suele tener inconvenientes en realizar las pruebas de campo ya que se tienen que hacer en un lugar con las condiciones de viento necesarias, o tener un túnel de viento, que generalmente suele ser costoso. Por lo tanto, en el laboratorio ETI de parque I se planteó este proyecto cuyos objetivos son:

Objetivo General:

Desarrollar un banco de pruebas en el que se simule el funcionamiento de una turbina de viento.

Objetivos específicos:

1. Adquirir las variables velocidad y torque generados en el eje del rotor de la turbina.
2. Desarrollar un sistema de adquisición de datos con Arduino que permita la interacción entre un computador y el sistema turbina-generador.
3. Desarrollar un programa en Matlab y Labview que permita controlar la velocidad del rotor del sistema para emular el comportamiento de una turbina de viento de baja potencia.

El presente informe está dividido en seis secciones, la primera es la actual en al que se incluyen la justificación y los objetivos del trabajo. Luego está el marco teórico que describe algunos conceptos necesarios para entender el trabajo desarrollado. Posteriormente está la metodología que comienza diseñando el circuito de acondicionamiento de la señal PWM generada por la tarjeta Arduino para controlar la velocidad del motor.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Luego se diseña el circuito que lee la velocidad del motor a través del encoder y convirtiendo esta señal de frecuencia en una señal de voltaje para ser leída por el puerto análogo del arduino. Continúa con el acondicionamiento de la señal que entrega el torquímetro para ser leída por la tarjeta arduino. Por último, al tener el hardware diseñado, se muestra cómo se realizó la programación en Matlab y en LabView. Luego se da una guía de usuario, que le permite a este poder instalar el software en un computador y conectarlo al banco del laboratorio. Al final, se muestran los resultados obtenidos en el trabajo, conclusiones y recomendaciones a la hora de ampliar el alcance de este trabajo.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

2. MARCO TEÓRICO

Basado en (Danish Wind Industry Association (DWIA), 2018), la velocidad del viento y la velocidad angular del rotor del aerogenerador tienen una relación no lineal, por esta razón, para simular una velocidad de viento en el banco, esta debe traducirse a una velocidad angular por medio de las ecuaciones que modelan el aerogenerador. Aunque es de aclarar que esta ecuación y el modelamiento del aerogenerador no hacen parte de este trabajo; el dispositivo a realizar solo se encarga de imponer una velocidad al motor y leer la velocidad y torque producidos en el aerogenerador.

En esta sección se introducirán conceptos teóricos necesarios para entender el trabajo desarrollado.

1. Aerogeneradores

Los aerogeneradores como los mostrados en la Figura 1, son máquinas eléctricas que convierten la energía cinética del viento en energía eléctrica. Los hay de dos tipos, de eje horizontal y eje vertical; en este caso es de eje horizontal según como lo define (SOLE, 2008).

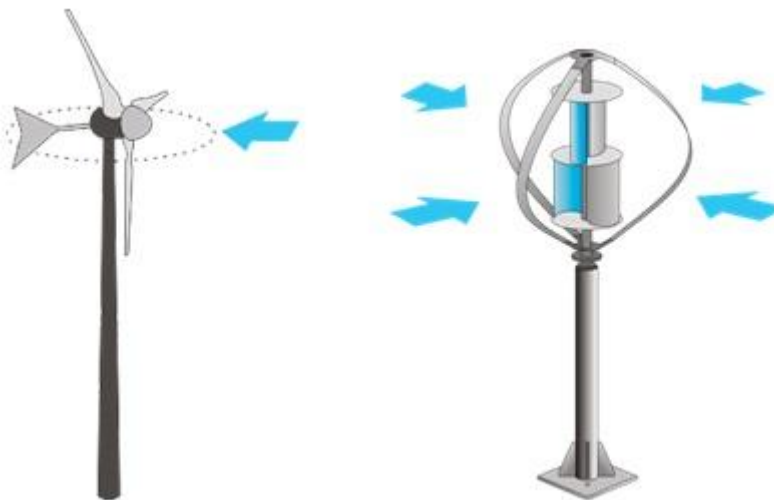


Figura 1 Turbinas de eje horizontal y vertical (Suministros y Montajes Eólicos, 2018)

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

2. Sistemas de adquisición de datos

National Instruments (National Instruments, 2018), define la adquisición de datos (DAQ) como el proceso de medir con una PC un fenómeno eléctrico o físico como voltaje, corriente, temperatura, presión o sonido. Un sistema DAQ, como el mostrado en la Figura 2, consiste de sensores, hardware de medidas DAQ y una PC con software programable. Comparados con los sistemas de medidas tradicionales, los sistemas DAQ basados en PC aprovechan la potencia del procesamiento, la productividad, la visualización y las habilidades de conectividad de las PCs estándares en la industria proporcionando una solución de medidas más potente, flexible y rentable.



Figura 2 Proceso de adquisición de datos (National Instruments, 2018)

Varias de las placas arduino (incluyendo la tarjeta arduino uno utilizada en este banco) se pueden utilizar como una tarjeta DAQ para los programas Matlab y Labview, ya que estas empresas proporcionan toolbox que facilitan la comunicación de la tarjeta con el computador a través de los puertos COM, permitiéndole al usuario solo concentrarse en el problema de su investigación, haciendo transparente el proceso de comunicación.

3. Acondicionamiento de señales y filtrado

Cuando las señales a medir no tienen las características eléctricas deseadas para ser leídas por el dispositivo DAQ, se hace uso de circuitos electrónicos analógicos con amplificadores operacionales con el fin de obtener dichas características.

- Amplificador no inversor: se usa para multiplicar una señal de voltaje por una ganancia A, sin invertir su polaridad, como se ve en el circuito de la Figura 3.

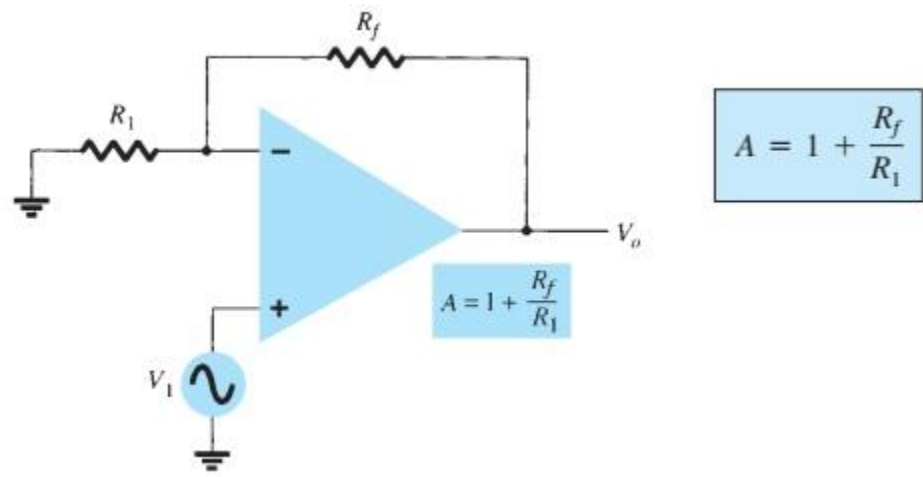


Figura 3 Amplificador no inversor (Boylestad, 2009)

- Filtro pasa bajas: se usa para filtrar las altas frecuencias o ruidos de las señales, este circuito, mostrado en la Figura 4, atenúa o corta las frecuencias mayores a f_{OH} y deja solo las frecuencias menores.

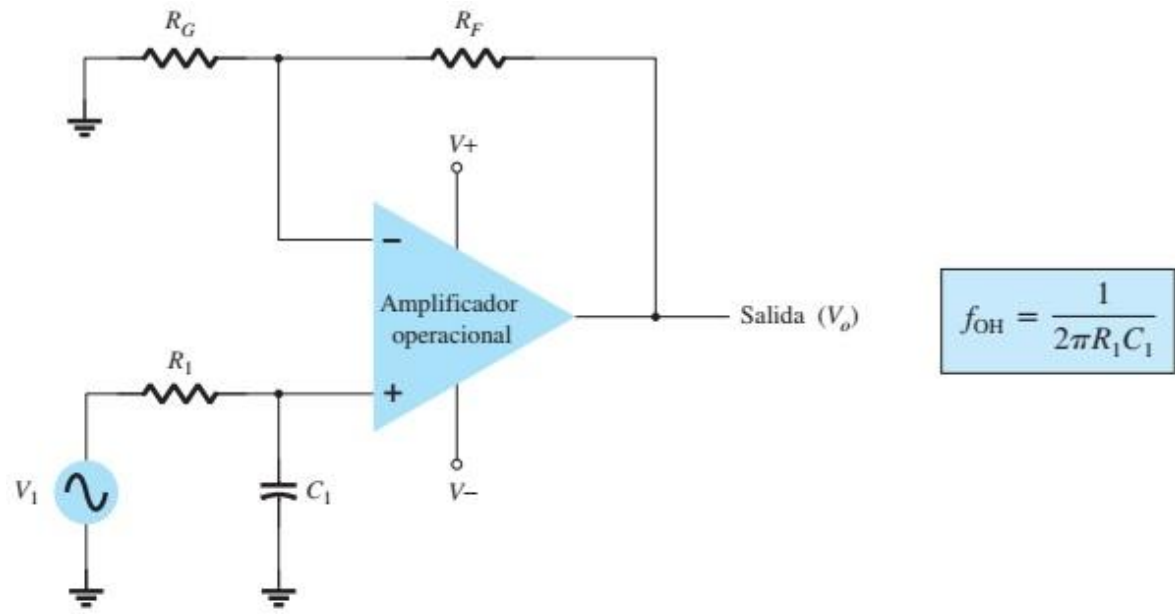


Figura 4 Filtro activo pasa bajas (Boylestad, 2009)

- Convertidor frecuencia a voltaje: debido a que la señal de salida del encoder es una señal de frecuencia, esta frecuencia ahí que convertirla en una señal de voltaje que pueda ser leída por la tarjeta DAQ. El circuito integrado LM331, con la configuración mostrada en la Figura 5, realiza esta función.

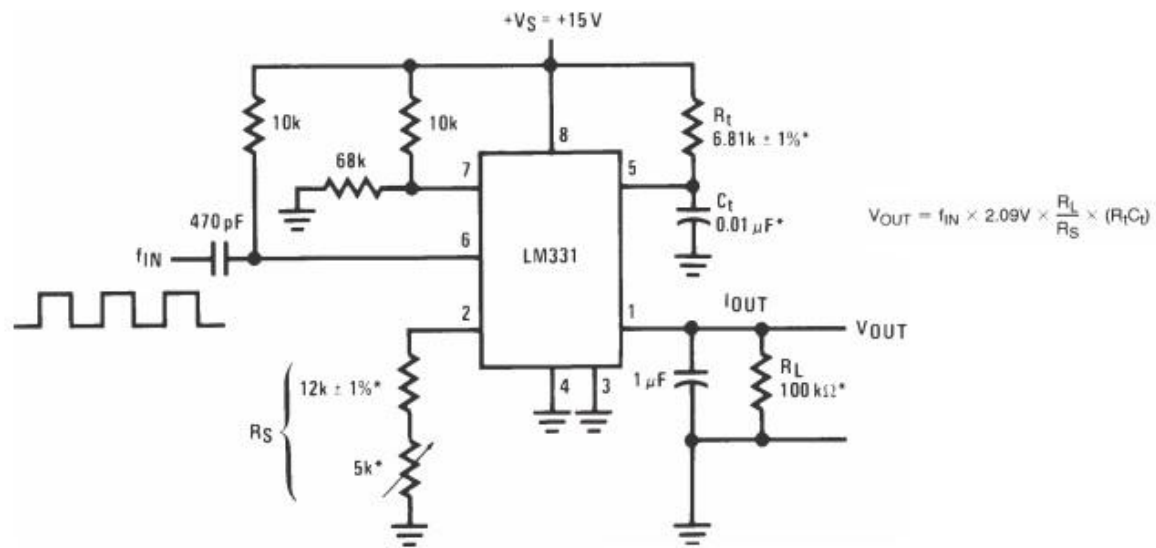


Figura 5 Convertidor de frecuencia a voltaje (Texas Instruments, 2018)

4. Sensores de torque

Son dispositivos que convierten el esfuerzo de torsión generado en un eje en una señal eléctrica. Existen de dos tipos; estático y dinámico. Los estáticos sirven para leer el torque generado sin que haya rotación, y los dinámicos sirven para leer el torque producido en un eje en rotación.

Actualmente existen unos sensores basados en galgas extensiométricas. Estos se fundamentan en el efecto piezoresistivo, en la cual varía la resistencia eléctrica cuando este se somete a un esfuerzo mecánico. En la Figura 6 se muestra un ejemplo de la implementación de este tipo de sensores.

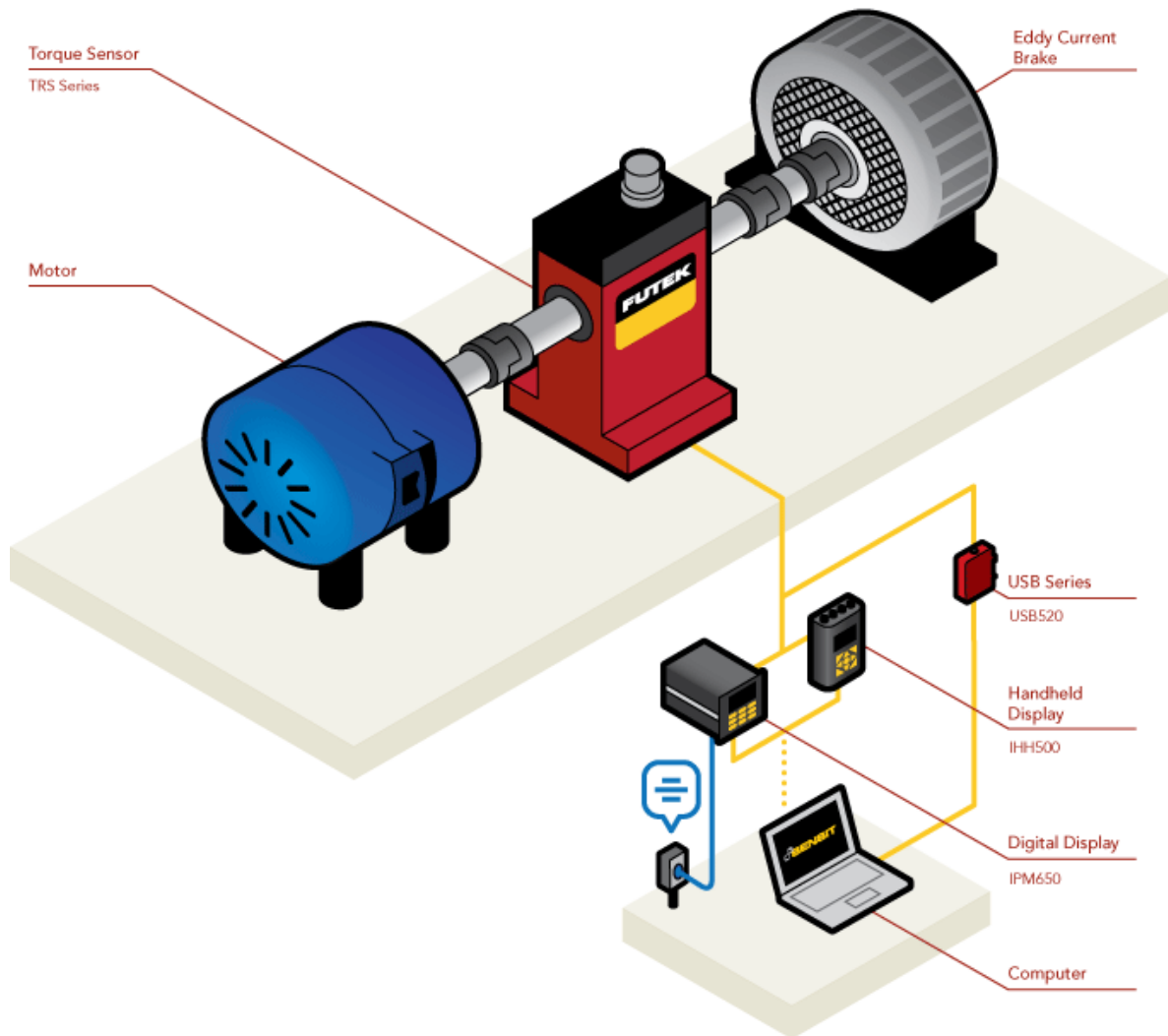


Figura 6 Acondicionamiento de señal de control de velocidad (FUTEK, s.f.)

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

3. METODOLOGÍA

El procedimiento para realizar el banco simulador del aerogenerador se dividió en 4 partes principales, primero se ejecutaron las 3 primeras relacionadas con el hardware, y por último se integraron todas con la realización del software en ambos lenguajes.

HARDWARE

Cada etapa del se hizo de forma independiente como se muestra a continuación.

Control de la velocidad de giro del motor

Se utilizo el pin ~3 del Arduino Uno como una salida PWM. Esta señal tiene una frecuencia de 490 Hz, la cual pasa por un filtro activo de segundo orden permitiendo solo el paso del nivel DC o promedio de la señal.

Después de ser filtrada, esta señal de 0 a 5 voltios se ingresa a la tarjeta (BALDOR BC145), la cual se encarga de aislar y escalar esta señal para ser ingresada a la tarjeta (BALDOR BC141) de control de velocidad del motor DC como se muestra en el diagrama de bloque de la Figura 7.

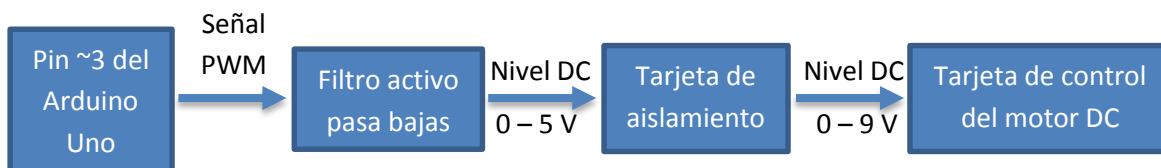


Figura 6 Acondicionamiento de señal de control de velocidad

La tarjeta BALDOR BC142-6 (Figura 8 y 9) controla la velocidad del motor DC ingresándole una señal DC de 0 - 9 V para una velocidad máxima de 1750 RPM. Pero para esta aplicación se puede llegar máximo a 1000 RPM, por esto el voltaje ingresado debe ser de 0 – 5.143 V.



Figura 7 Driver del motor (BALDOR, 2018)

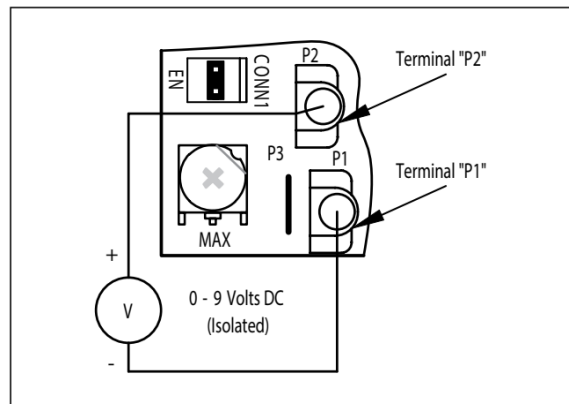


Figura 8 Conexión señal DC (BALDOR, 2018)

Para aislar la parte de potencia de la parte de control, es necesario conectar la tarjeta de aislamiento BALDOR BC145 de la Figura 10 y 11, de la cual sale un voltaje proporcional al voltaje de entrada por los pines 9 y 10.

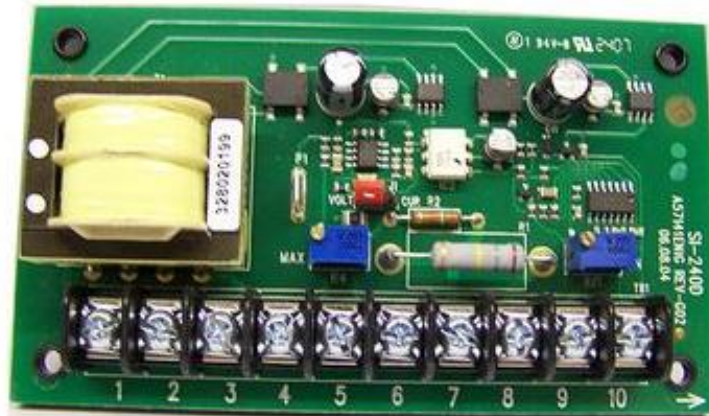


Figura 9 Tarjeta de aislamiento

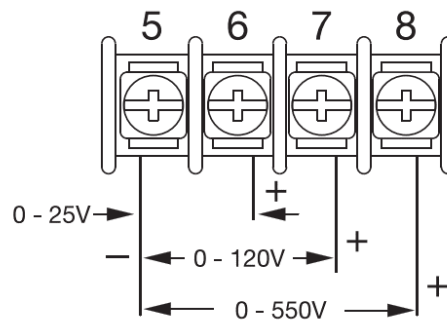


Figura 10 Pines de entrada, tarjeta de aislamiento (BALDOR, 2018)

La relación entre el ciclo de trabajo de la señal PWM que sale de la tarjeta arduino y la velocidad angular del motor es una relación lineal gracias a que se usó un motor DC. Además, la resolución de esta señal es de 8 bits.

Lectura de la velocidad del motor

La lectura de la velocidad se hace por medio de un encoder que genera un tren de pulsos con una frecuencia proporcional a la velocidad angular del motor. Este tren de pulsos se ingresa a un circuito convertidor de frecuencia a voltaje LM331. Esta señal de voltaje resultante de la conversión F-V pasa por un filtro activo de segundo orden y luego es leída por el puerto análogo A0 del Arduino Uno, este tiene una resolución de 10 bits, es decir una

resolución de poco menos de un rpm. Todo este proceso se puede resumir en el diagrama de bloque de la Figura 12.

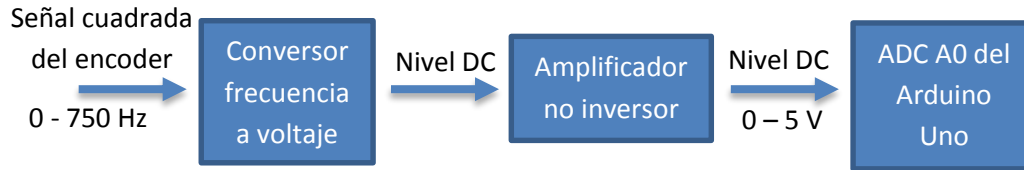


Figura 11 Acondicionamiento del sensor de velocidad

Lectura del torque

El torquímetro FUTEK TRS600 de la Figura 13 usado en el proyecto tiene una señal de salida de 1V/N·m y una lectura máxima de 5N·m.



Figura 12 Torquímetro (FUTEK, 2018)

El torque generado en el acople del motor-generator se lee por medio del torquímetro TRS600 que envía una señal de 0 a 5 voltios correspondiente a un torque de 0 a 5 N·m respectivamente. Esta señal pasa por un filtro activo de segundo orden y se lee por el puerto analógico A1 del Arduino Uno. Ya que este puerto tiene una resolución de 10 bits, este torque se lee con una resolución de 0.0049 N·m.

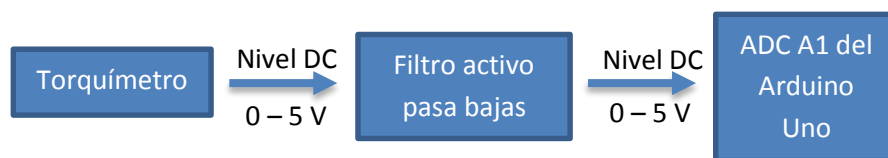


Figura 13 Acondicionamiento del sensor de torque

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

SOFTWARE

Como interface para controlar este banco de laboratorio a través del pc se utilizó una tarjeta Arduino Uno y como software de programación y control se utilizaron dos programas como son Matlab y LabVIEW para dar mayor versatilidad al banco.

La tarjeta Arduino UNO permite ser controlada desde Matlab o desde LabVIEW como una tarjeta propia de estas empresas por medio de los toolbox que proporcionan los fabricantes de estos programas, haciendo que el Arduino se comporte como una tarjeta de adquisición de datos económica y funcional para este proyecto.

A continuación, se describe el procedimiento de programación en cada uno de estos dos programas.

En Matlab

Para que Matlab reconozca y controle la tarjeta arduino es necesario instalar el soporte para hardware *MATLAB Support Package for Arduino Hardware*.

En cuanto a la programación se crearon 3 funciones. Una función para escribir la velocidad angular deseada en el motor, otra para leer la velocidad angular real en el generador y otra para leer el torque generado en el acople motor-generador. A continuación, se explica cada una de ellas:

- `escribir_vel(a,w)`: a esta función se le debe ingresar la variable **a** que corresponde al objeto con la información Arduino creada en la función principal (esto aplica para todas las funciones creadas en Matlab), y **w** que es la velocidad deseada en rpm. Ella envía este valor por el pin ~3 del Arduino Uno y espera 0.1 segundos a que se establezca la velocidad en el motor y las señales en los filtros del torquímetro y el velocímetro (este valor es una aproximación que puede ser modificada por el usuario). Esta función no retorna ningún valor.
- `leer_vel(a)`: a esta función se le debe ingresar la variable **a** y ella retorna la velocidad angular **w** en rad/s del motor, leída por el puerto análogo A0.
- `leer_torque(a)`: a esta función se le debe ingresar la variable **a** y ella retorna el torque en N·m generado en el acople motor-generador leído por el puerto análogo A1.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

En el programa principal se debe ejecutar la línea de código. si solo se tiene un arduino conectado al PC:

```
a = arduino
```

O la siguiente si quiere especificar la placa y por cual puerto se desea comunicar con la placa:

```
a = arduino('COM8', 'Uno')
```

Esta le enviará el programa a la placa arduino para que esta se pueda comunicar con Matlab y reconocerá de manera automática las propiedades de la placa conectada:

```
a =
    arduino with properties:
        Port: 'COM8'
        Board: 'Uno'
        AvailablePins: {'D2-D13', 'A0-A5'}
        Libraries: {'I2C', 'Servo', 'SPI'}
```

La variable a corresponde al objeto que contiene todas las propiedades de la placa arduino y el puerto COM donde está conectada al PC.

En LabView

Para controlar la tarjeta Arduino Uno desde LabView es necesario instalar el *LabVIEW Interface for Arduino* desde el *VI Package Manager*; además se debe programar la tarjeta Arduino con el programa *LIFA_Base* que está en la misma carpeta de instalación del administrador instalado previamente.

El objetivo del programa hecho en LabView es realizar un entorno gráfico, como se ilustra en la Figura 14, donde el usuario pueda determinar la velocidad deseada en el motor y en simultanea pueda observar la velocidad real del sistema ω y el torque producido T en el acople motor-generado; a partir de la lectura de estas dos variables, se pueda determinar la potencia P mecánica del sistema mediante la ecuación $P = T \cdot \omega$. En la Figura 15 se ilustra el diagrama de bloques realizado en LabVIEW, donde se ilustra la comunicación con la tarjeta Arduino y el puerto COM donde está conectada.

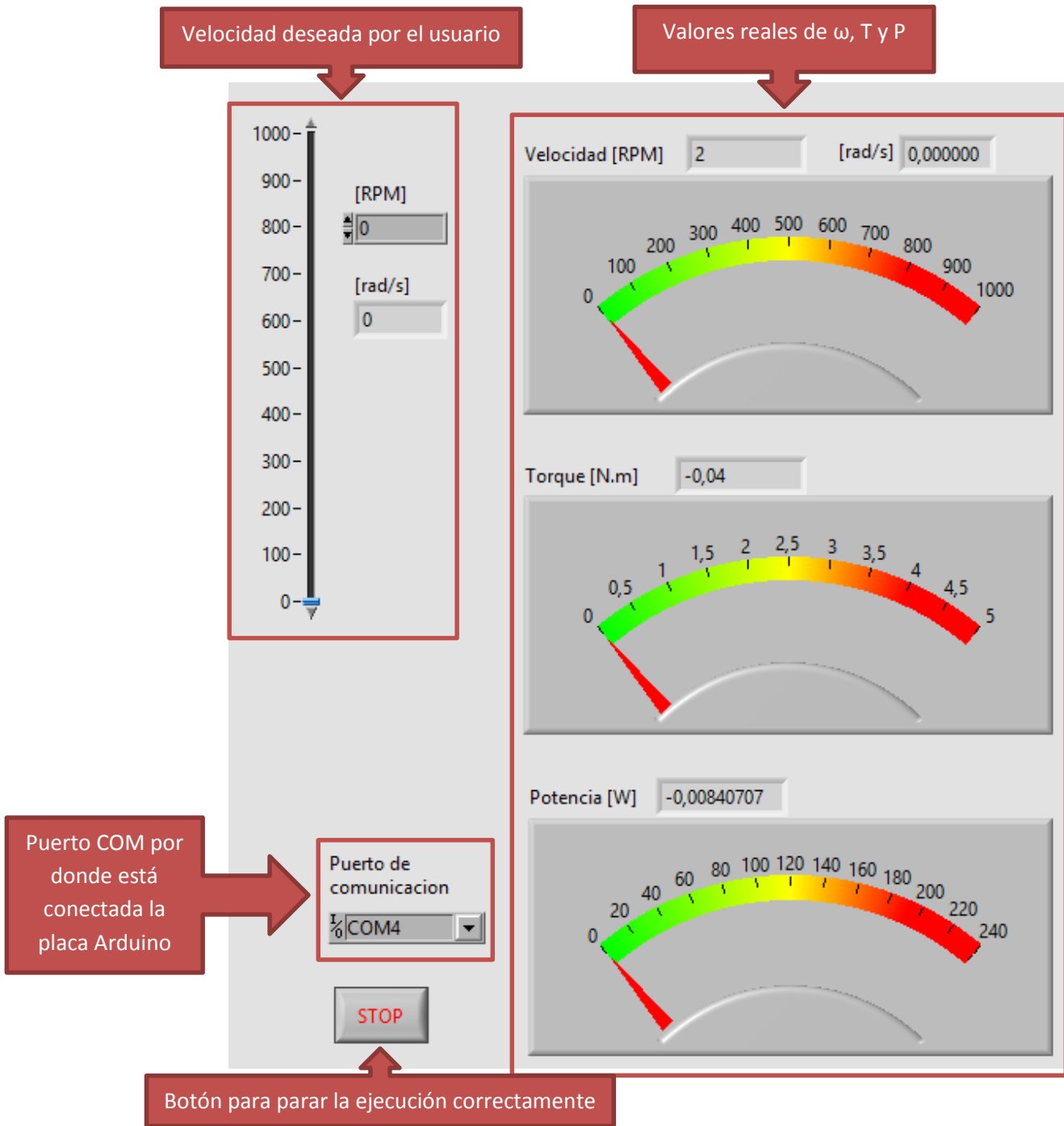


Figura 14 Panel frontal del programa en LabVIEW

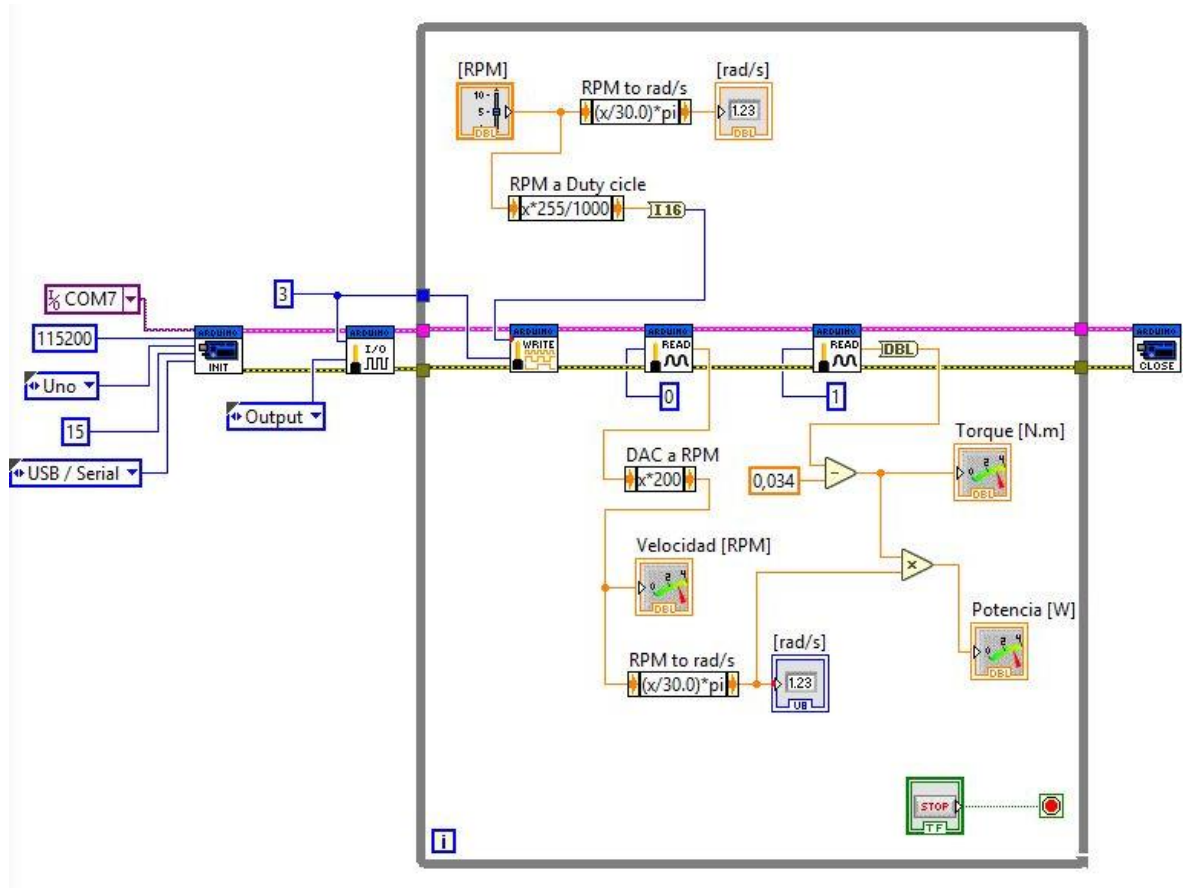


Figura 15 Diagrama de bloques del programa en LabVIEW

4. GUIA DE USUARIO

En esta sección se explicarán los pasos que debe seguir el usuario que vaya a trabajar con el banco en Matlab o LabVIEW.

Procedimiento con *Matlab* (MATLAB, 2018)

1. Abrir Matlab y buscar **Get Hardware Support Packages**

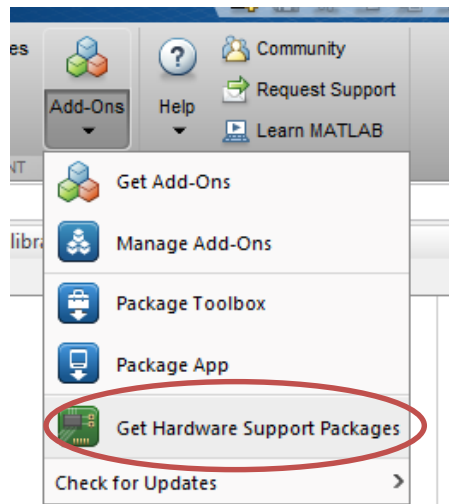


Figura 16 Get Hardware Support Packages

2. Buscar *arduino* y seleccionar **Legacy MATLAB and Simulink Support for Arduino**

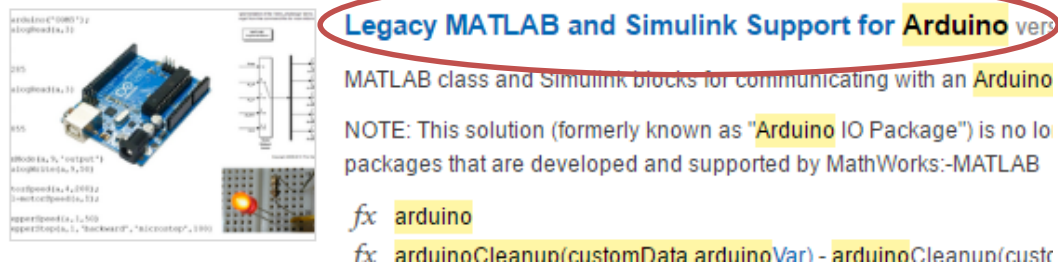


Figura 17 Legacy MATLAB and Simulink Support for Arduino

3. Instalar siguiendo los pasos.
4. Ya puede hacer el programa utilizando las funciones descritas anteriormente en la metodología

- `function [] = escribir_vel(a,w)`
- `function [w] = leer_vel(a)`
- `function [torque] = leer_torque(a)`

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Procedimiento con *LabVIEW* (LabVIEW, 2018)

1. Tener instalado los programas *Arduino*, *LabVIEW* y *VI Package Manager*; abrir este último y buscar “arduino”
2. Seleccionar *LabVIEW Interface for Arduino* e instalarlo

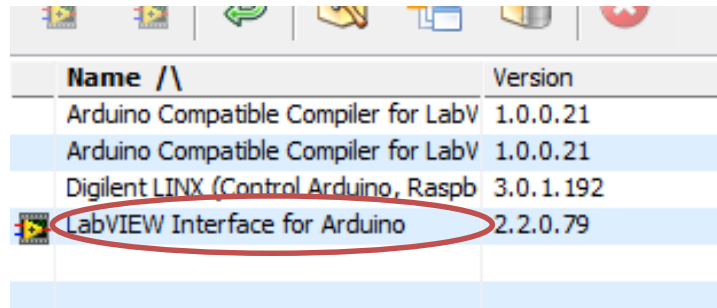


Figura 18 *LabVIEW Interface for Arduino*

3. Si la instalación se hace por defecto, buscar el archivo *LIFA_Base.ino* en la siguiente ruta:
C:\Program Files\National Instruments\LabVIEW 2017\vi.lib\LabVIEW Interface for Arduino\Firmware\LIFA_Base
4. Abrir el archivo con el programa *Arduino* y enviar el programa a la placa *Arduino Uno*.
5. En caso de no tenerlo, instalar el programa *NI-Visa* de National Instruments. Este se puede descargar de la página: <http://www.ni.com/download/ni-visa-17.0/6646/en/>

Este programa soluciona los problemas de comunicación con diferentes placas de desarrollo. En nuestro caso, los puertos COM y USB.

Hasta este punto ya podemos comunicar *LabVIEW* con la tarjeta *Arduino*. Ahora se explicará la interface hecha para controlar el banco de pruebas del aerogenerador:

1. Se abre el programa *Programa_1* en *LabVIEW*.
2. En el panel frontal se selecciona el puerto COM por el cual está conectada la placa.



Figura 19 Puerto COM por donde se va a comunicar

- En el *Block Diagram* se activa los botones *Highlight Execution* y *Run* para comprobar que no hay errores.

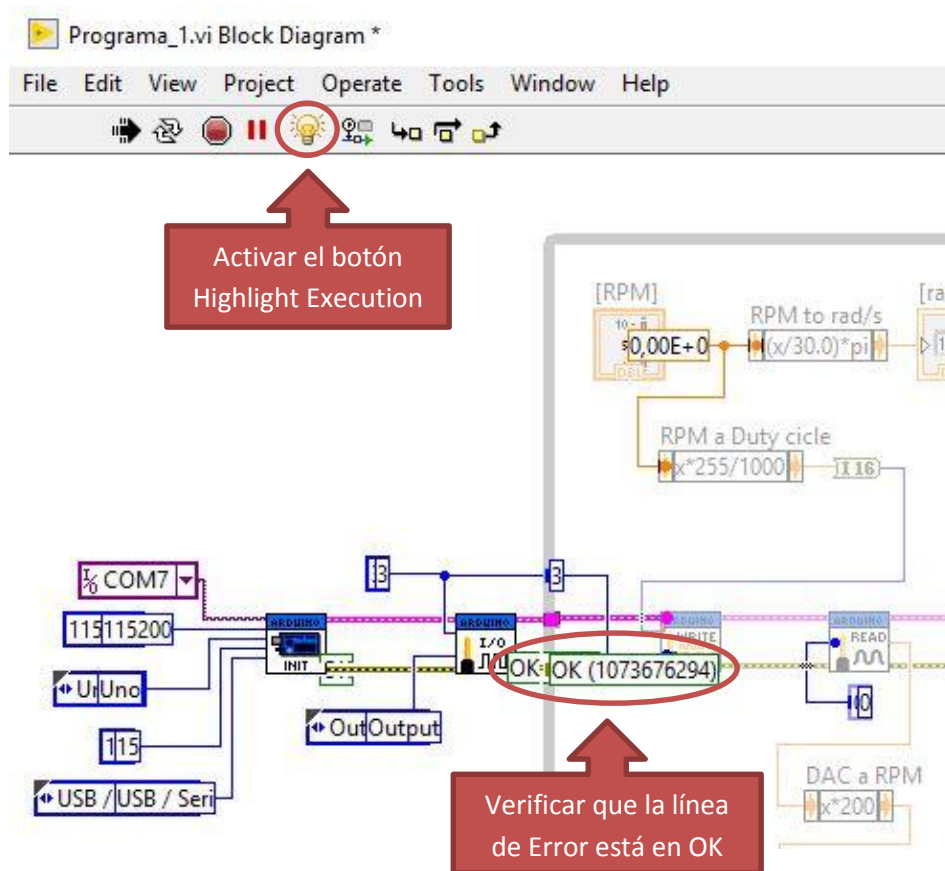


Figura 20 Verificación de la comunicación exitosa

- Al comprobarse que no hay errores de comunicación entre LabVIEW y Arduino, se puede ejecutar el programa sin este botón activo.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

5. Para parar la ejecución del programa, siempre debe hacerse con el botón **STOP** del panel frontal y no con el botón *Abort Execution* ya que de esta manera se generan problemas en la próxima ejecución del programa.

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En esta sección se mostrará el comportamiento que tuvo el banco después de ser desarrollado. Para esto, se le impusieron unas velocidades al motor por medio del programa LabView, y se observó el comportamiento de las señales en el sistema.

Al ingresar una velocidad de 250 RPM en el programa, la señal PWM que sale de la tarjeta Arduino (en azul) muestra un ciclo de trabajo del 25% y la señal de voltaje (en magenta) de realimentación tiene un promedio de 980.1 mV, como se muestra en la Figura 22.

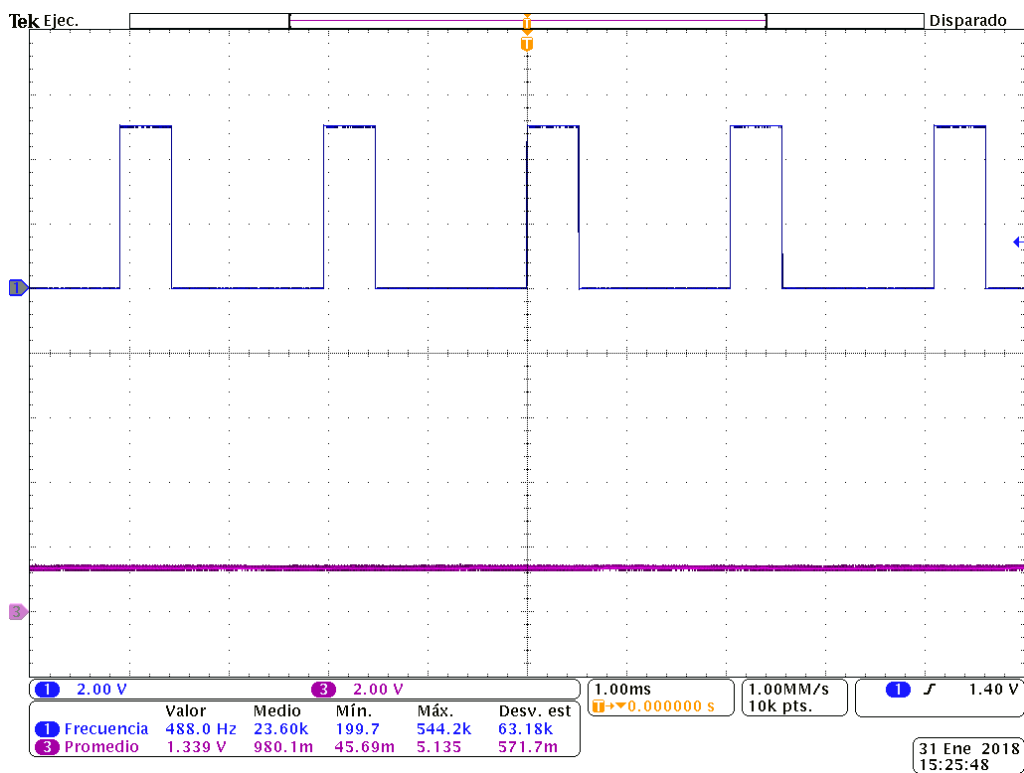


Figura 21 Lectura en el osciloscopio a 250 RPM

Al aumentar el ciclo de trabajo al 50% y 75%, se evidencia que la señal promedio de velocidad se incrementa a 1.865 V y 3.7 V respectivamente, como se muestra en las Figuras 23 y 24.

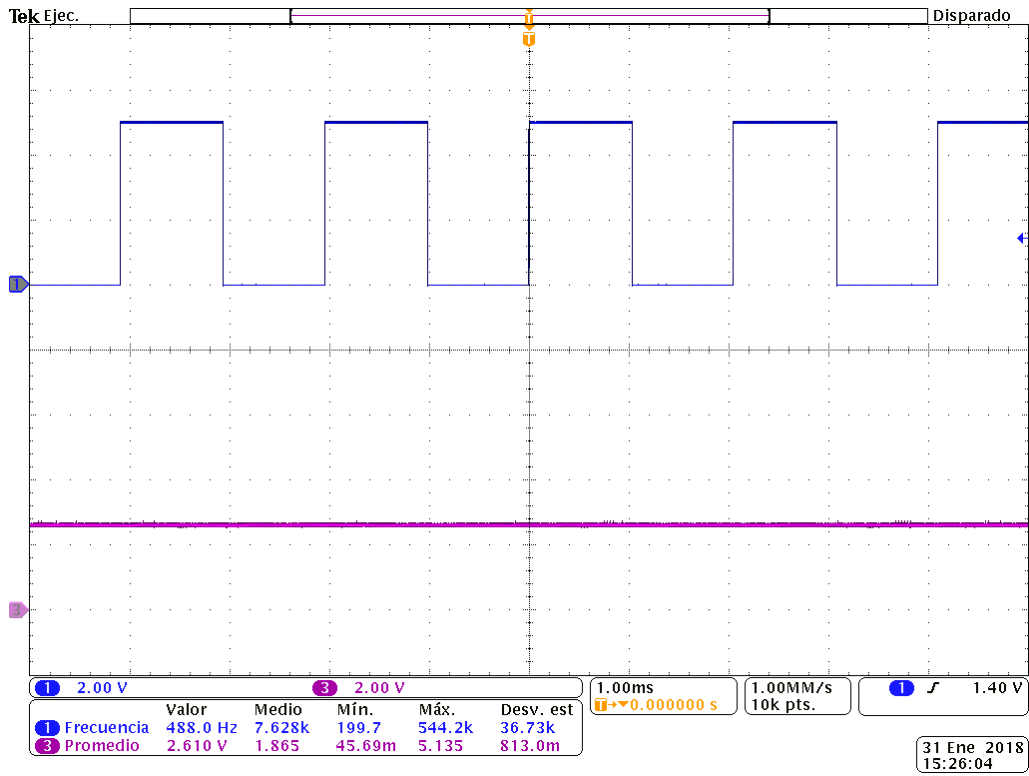


Figura 22 Lectura en el osciloscopio a 500 RPM

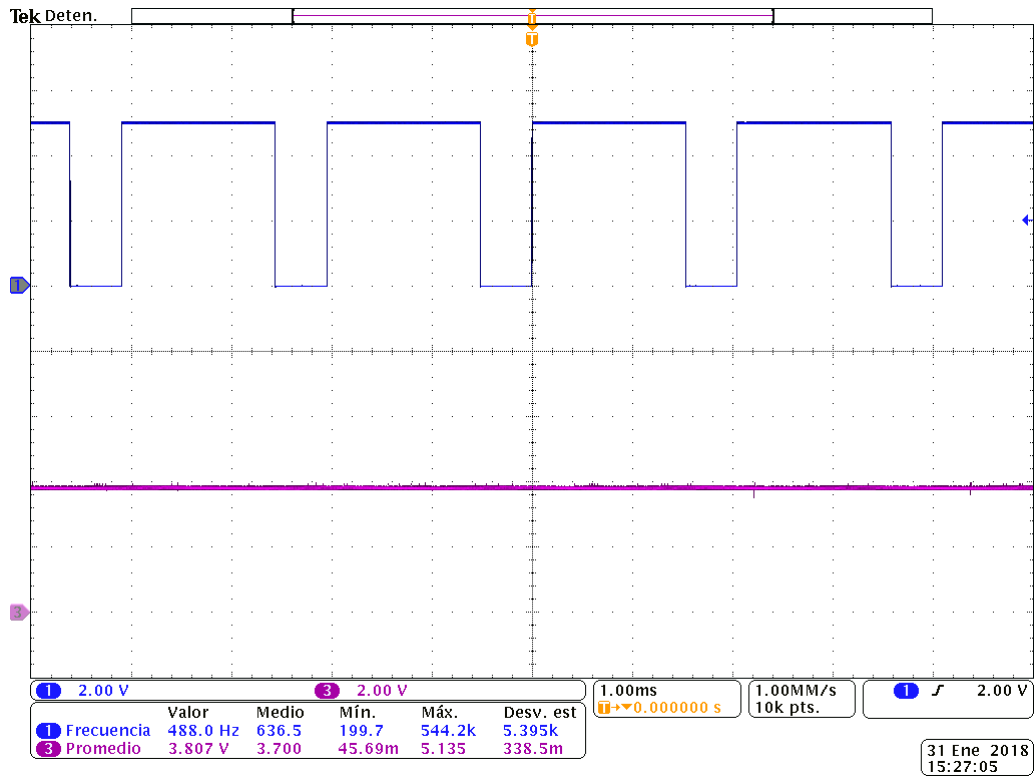


Figura 23 Lectura en el osciloscopio 750 RPM

Por último, al aumentar el ciclo de trabajo de la señal PWM al 100%, la señal promedio se incrementa hasta 4.633 V, como se evidencia en la Figura 25.

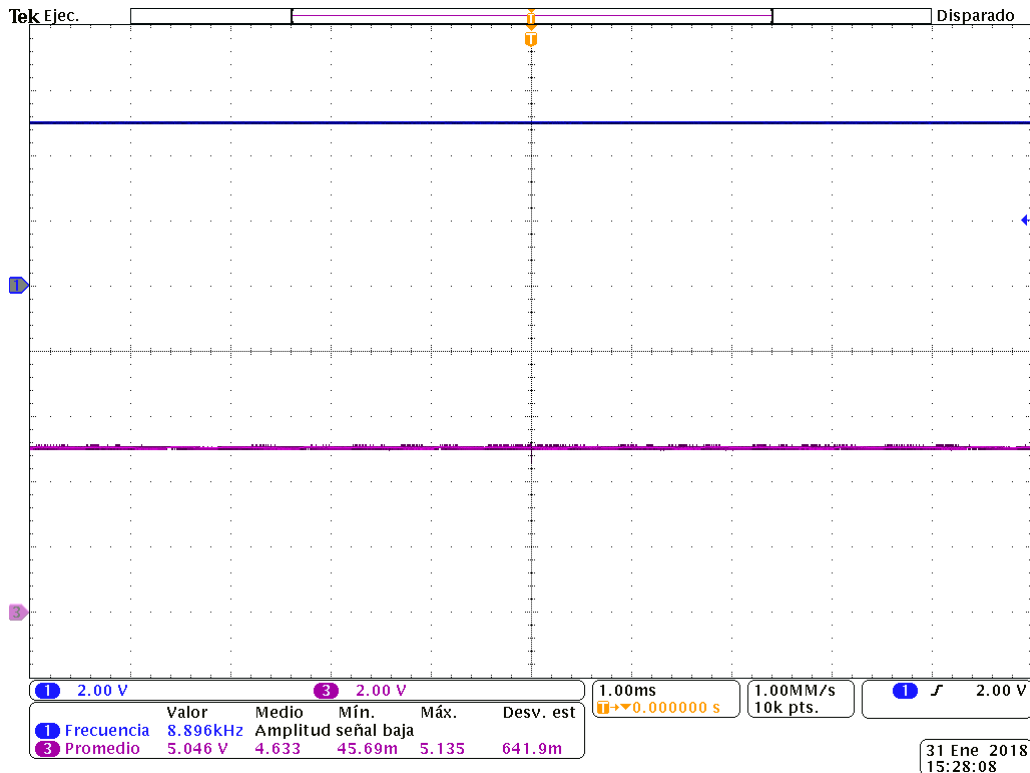


Figura 24 Lectura en el osciloscopio 1000 RPM

En las gráficas anteriores, la gráfica azul muestra la señal de mando PWM que sale por el pin~3 del Arduino Uno, y la gráfica magenta muestra el nivel de voltaje DC que se lee por el A0 del Arduino Uno. Este nivel de voltaje se escala en LabVIEW y Matlab con la siguiente ecuación:

$$\omega = 204.8 \cdot v$$

Donde:

ω = velocidad angular en RPM

v = voltaje leído por A0

Al imponer una velocidad de 1000 RPM, se obtuvo una señal cuadrada del encoder, con una frecuencia de 750Hz, como se muestra en la Figura 26. Esta medida se tomó en los pines “750 Hz / 1000 RPM” de la Figura 27.

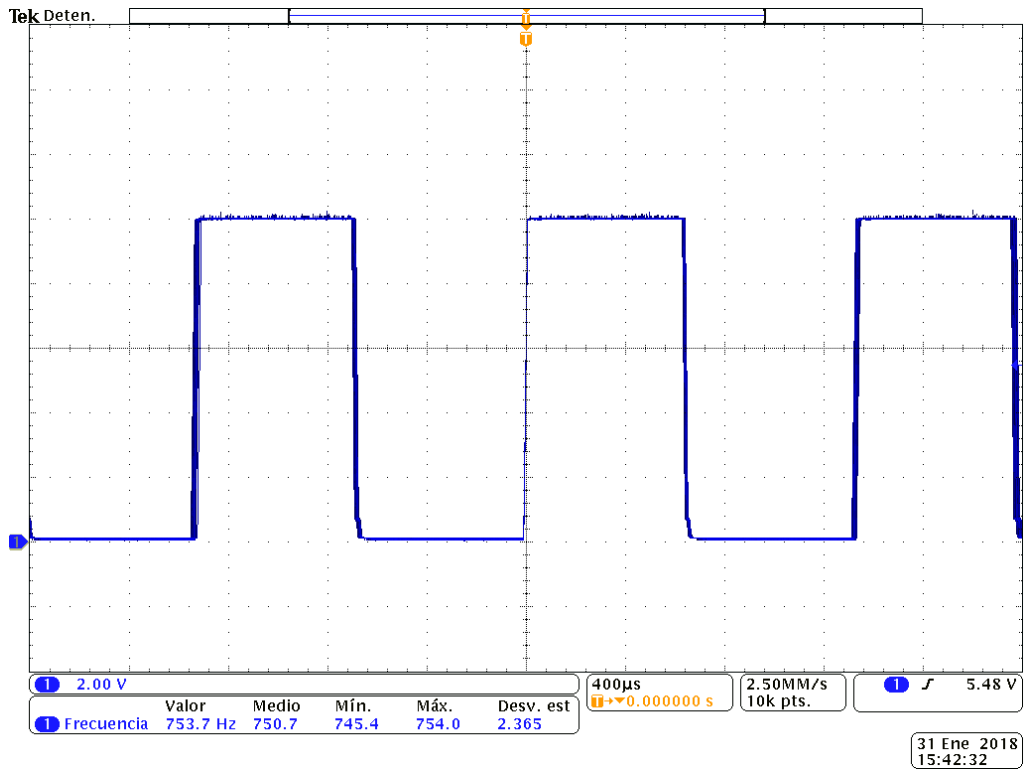


Figura 25 Lectura de la salida de frecuencia del encoder a 1000RPM - 750Hz

Para agrupar todas las tarjetas utilizadas en el banco y tener todas las conexiones organizadas, se construyó una caja como la mostrada en la Figura 27 y 32.

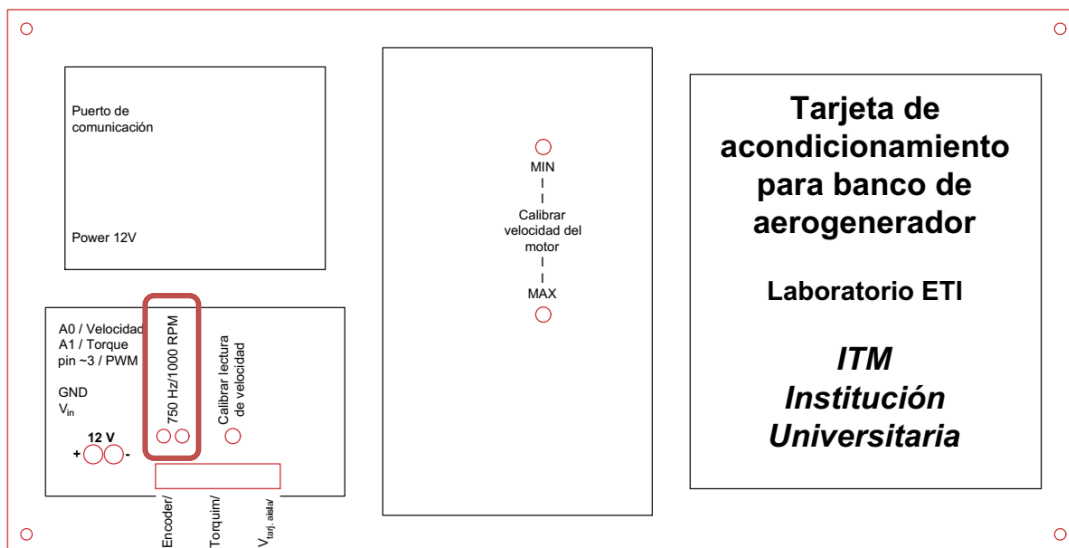


Figura 26 Tapa de la tarjeta del banco

Al ingresar un escalón de 1000 RPM a la planta, esta respondió como un sistema de primer orden. También se evidencia que tuvo un tiempo de estabilización de aproximadamente 800 ms, como se ilustra en la Figura 28.

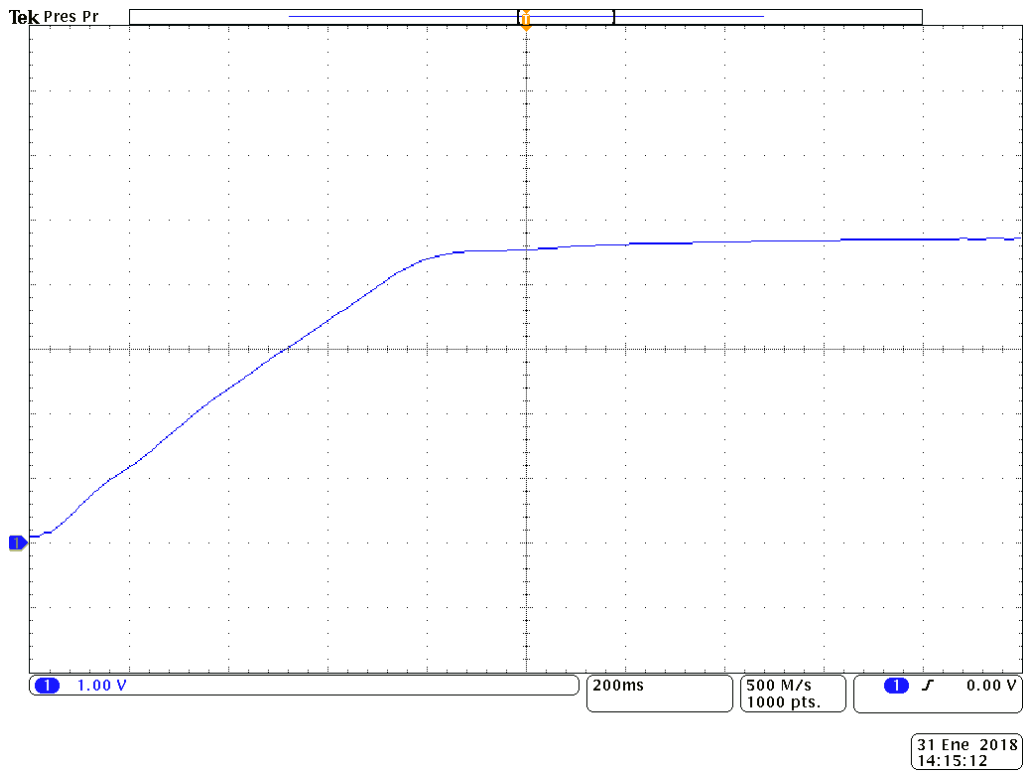


Figura 27 Respuesta de la planta a un escalón 1000 RPM

El diagrama esquemático y la placa PCB de la placa construida, se ilustran en las Figuras 29 y 30.

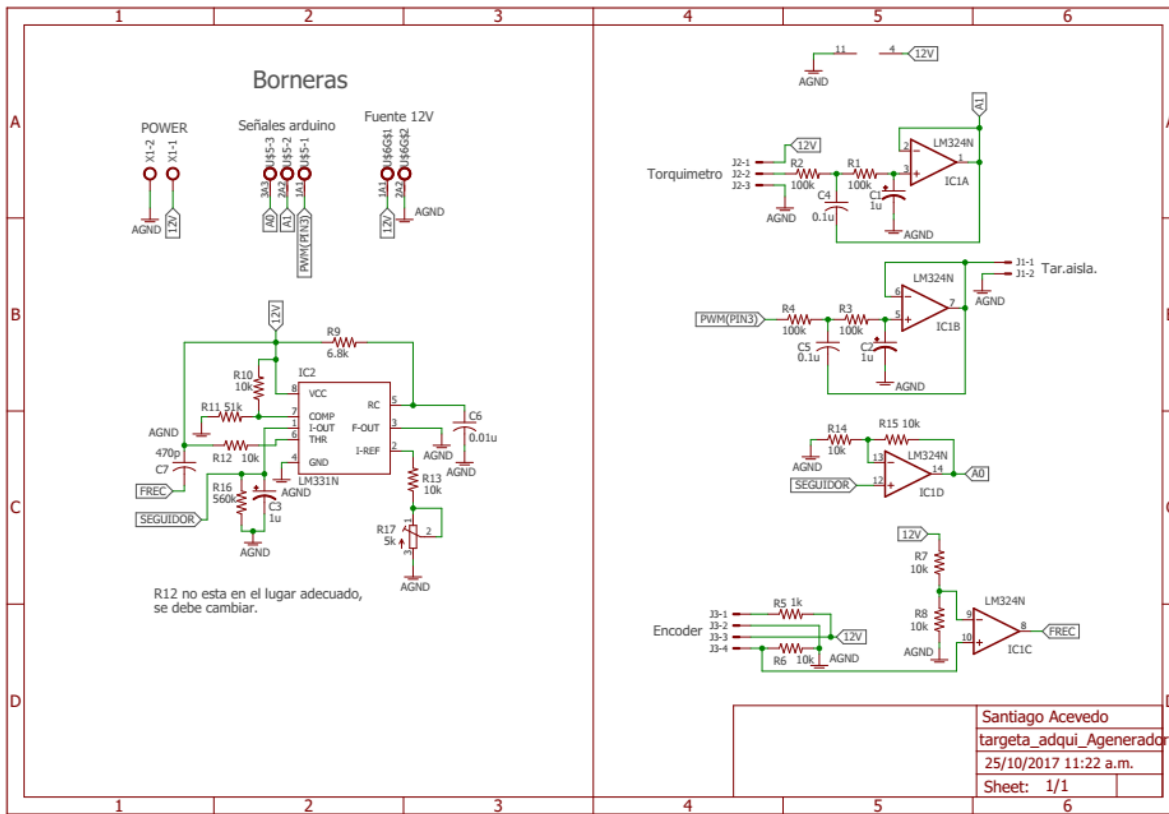


Figura 28 Esquemático del circuito de acondicionamiento

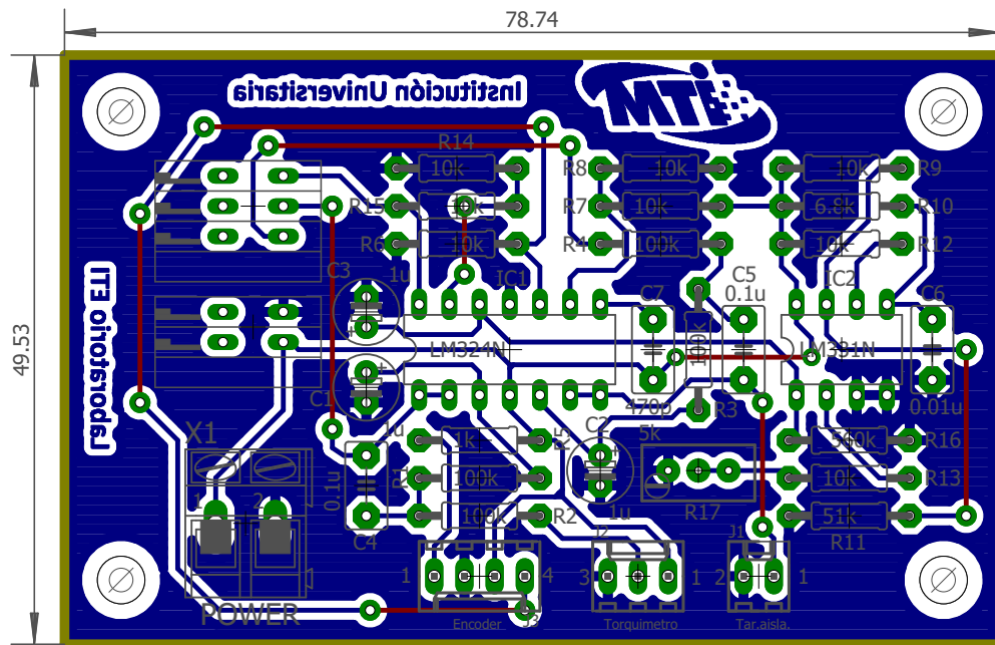


Figura 29 PCB del circuito de control

En las Figuras 31 y 32 se muestra dos fotos del proyecto terminado. La Figura 31 es del banco completo y la Figura 32 muestra solo la tarjeta de control y acondicionamiento.

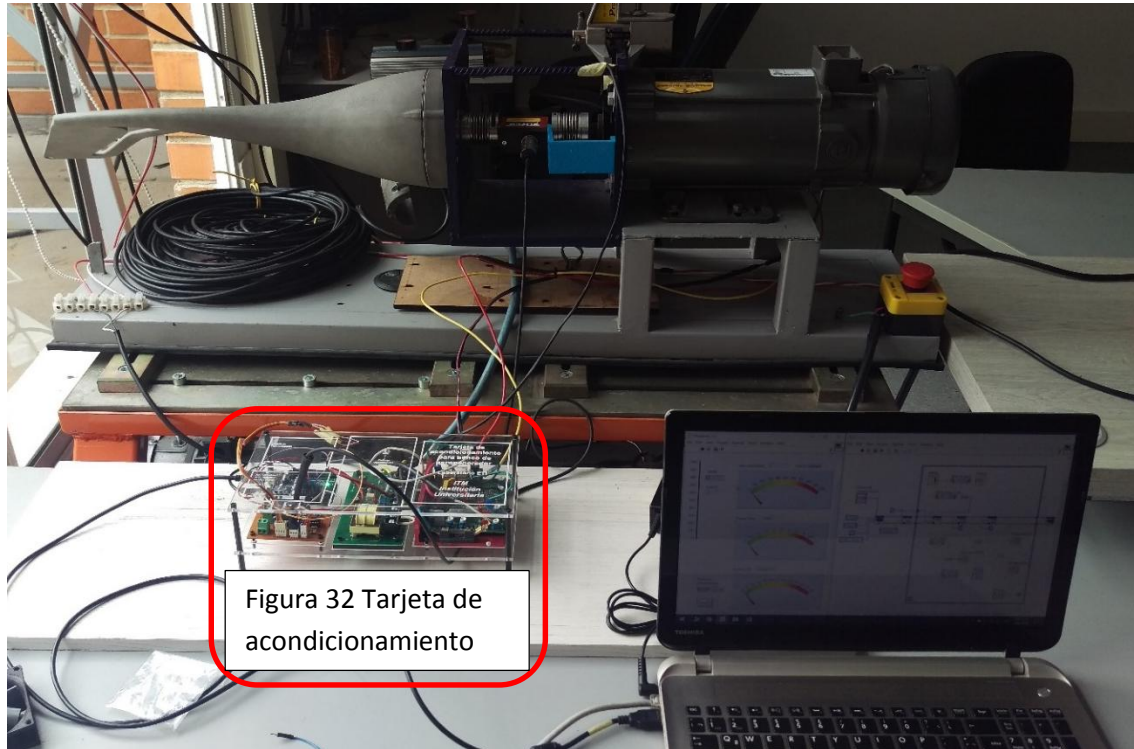


Figura 32 Tarjeta de acondicionamiento

Figura 30 Foto del montaje completo

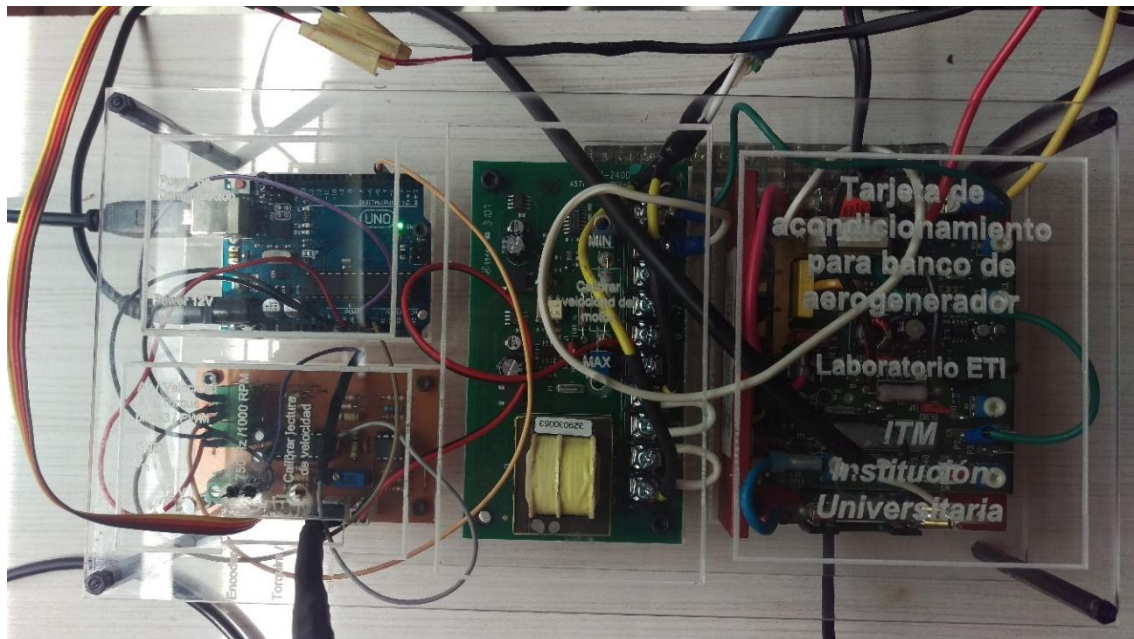


Figura 31 Foto ampliada de la tarjeta de acondicionamiento

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

6. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO


- Se controló el banco de pruebas del aerogenerador por medio de la tarjeta Arduino Uno logrando velocidades de respuesta menores a un segundo, en lo que respecta a seguir la velocidad de referencia del eje mecánico.
- Hasta el momento se está calculando la potencia mecánica ($P = T \cdot \omega$), pero el proyecto se puede ampliar para calcular la potencia eléctrica ($P = V \cdot I$) leyendo el voltaje a la salida del aerogenerador y la corriente que fluya por la carga conectada, ya que quedan más puertos ADC disponibles para hacer estas lecturas.
- Teniendo las medidas de potencia mecánica y potencia eléctrica se podría calcular la eficiencia del aerogenerador.

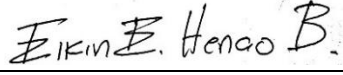
	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22


REFERENCIAS

- BALDOR. (02 de 02 de 2018). *DC Motor Control*. Obtenido de <http://www.baldor.com/mvc/DownloadCenter/Files/MN704>
- BALDOR. (02 de 02 de 2018). *Targeta de aislamiento de señal DC*. Obtenido de <http://www.baldor.com/mvc/DownloadCenter/Files/MN1373>
- Boylestad, R. L. (2009). *Electrónica: teoría de circuitos y dispositivos electrónicos*. Mexico: Pearson Educación.
- Danish Wind Industry Association (DWIA). (08 de 06 de 2018). *Danish Wind Industry Association (DWIA)*. Obtenido de <http://xn--drmstrre-64ad.dk/wp-content/wind/miller/windpower%20web/es/tour/wres/shelves.htm>
- FUTEK. (02 de 02 de 2018). *Rotary Torque Sensor*. Obtenido de <http://www.futek.com/product.aspx?stock=FSH01996>
- FUTEK. (s.f.). *Torque/Motor Test Stand*. Obtenido de <http://www.futek.com/application/torque-sensor/Torque-Motor-Test-Stand>
- LabVIEW. (02 de 02 de 2018). *Archived: Installing LabVIEW Interface for Arduino Toolkit Using VI Package Manager*. Obtenido de <https://knowledge.ni.com/KnowledgeArticleDetails?id=kA00Z000000PAS1SAO>
- MATLAB. (02 de 02 de 2018). *Arduino Support from MATLAB*. Obtenido de <https://www.mathworks.com/hardware-support/arduino-matlab.html>
- National Instruments. (09 de 06 de 2018). *National Instruments*. Obtenido de <https://www.ni.com/data-acquisition/what-is/esa/>
- SOLE, A. C. (2008). *AEROGENERADORES*. BARCELONA: S.L. EDICIONES CEYSA. CANO PINA.
- Suministros y Montajes Eolicos. (09 de 06 de 2018). *Suministros y Montajes Eolicos*. Obtenido de <http://www.e-vawt.es/index.php?seccion=por-que-aerogeneradores>
- Texas Instruments. (09 de 06 de 2018). *LM331*. Obtenido de <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm331.pdf>
- Xzeres Wind. (02 de 02 de 2018). *Airbreezer*. Obtenido de <http://www.windenergy.com/lang-es>

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

FIRMA ESTUDIANTE  _____

FIRMA ASESOR  _____

FIRMA ASESOR  _____

FECHA ENTREGA: 21/06/2018

FIRMA COMITÉ TRABAJO DE GRADO DE LA FACULTAD _____

RECHAZADO _____ ACEPTADO _____ ACEPTADO CON MODIFICACIONES _____

ACTA NO. _____

FECHA ENTREGA: _____

FIRMA CONSEJO DE FACULTAD _____

ACTA NO. _____

FECHA ENTREGA: _____