



industriales  
etsii

Escuela Técnica  
Superior  
de Ingeniería  
Industrial

# UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial

## Sistema de Adquisición y Control para Caracterización de Aerogeneradores de Pequeña Potencia

TRABAJO FIN DE GRADO

GRADO EN INGENIERÍA ELECTRÓNICA INDUSTRIAL Y  
AUTOMÁTICA

**Autor:** José Ángel Martínez Fernández  
**Director:** José Alfonso Vera Repullo  
**Codirector:** Manuel Jiménez Buendía



Universidad  
Politécnica  
de Cartagena

Cartagena, Octubre de 2017







## Relación de Contenidos

1.	Introducción.....	3
2.	Antecedentes .....	9
3.	Objetivos .....	11
4.	Motivación .....	13
5.	Filosofía de Funcionamiento .....	16
5.1	Descripción del Proceso .....	18
5.2	Definición de Curva de Potencia.....	19
6.	Elementos Requeridos.....	23
6.1	Base o Estructura portante.....	23
6.2	Actuadores .....	25
6.2.1	Unidades de Ventilación .....	26
6.2.2	Variadores de Frecuencia .....	29
6.2.3	Conexión de Actuadores.....	33
6.3	Instrumentación .....	34
6.3.1	Anemómetros de hilo caliente .....	35
6.3.2	Sensor de Temperatura Pt100.....	39
6.3.3	Transmisor de Temperatura TxIsoRail 4-20mA.....	42
6.3.4	Sensor de Presión .....	46
6.3.5	Sensor de Velocidad de Giro .....	50
6.3.6	Convertidor de Frecuencia TACO Flex .....	52
6.3.7	Transductor de Tensión.....	58
6.3.8	Transductor de Intensidad .....	62
6.3.9	Tarjeta de Alimentación .....	66
6.4	Sistema de Adquisición de Datos .....	69
6.4.1	Data Logger .....	69
6.4.2	Tarjeta Multiplexora.....	71
6.5	Aerogenerador.....	73
6.5.1	Regulador de Carga .....	76
6.6	Otros Equipos .....	78
6.6.1	Baterías.....	78
6.6.2	Inversor .....	79
7.	Disposición de los equipos en el Banco de Ensayos.....	80
8.	Comunicación MODBUS.....	88
8.1	Transmisión MODBUS.....	91

8.1.1	Protocolos de Transmisión .....	91
8.1.2	Unidad de Datos de Protocolo .....	92
8.1.3	Estructura de Mensajes .....	94
8.2	Conexión MODBUS de los variadores de Frecuencia .....	95
8.3	Funciones del variador de frecuencia en LabVIEW .....	98
9.	Sistema de Control y Adquisición de datos .....	100
9.1	Software .....	103
9.1.1	Entorno de programación LabVIEW.....	104
10.	Programación de LabVIEW .....	106
10.1	Diagrama de Bloques Adquisición de Datos .....	106
10.2	Diagrama de Bloques Control de Variadores .....	115
10.3	Ventana Frontales .....	119
11.	Adquisición de Datos.....	123
11.1	Parámetros de Ensayo .....	123
11.2	Ensayos.....	124
12.	Propuesta de mejora .....	132
13.	Conclusión.....	133
14.	Referencias.....	134

## 1. Introducción

En el presente documento procederemos a establecer las bases requeridas para el desarrollo del Sistema de Adquisición y Control para la caracterización de Aerogeneradores de pequeña potencia, en el que centraremos nuestra atención en el diseño de un sistema de control y adquisición de datos mediante LabVIEW, y que este nos permita caracterizar el comportamiento de este tipo de aerogeneradores.

En consecuencia, y gracias al apoyo de la Universidad Politécnica de Cartagena, disponemos de un taller de prácticas dispuesto en las instalaciones “ELDI” (Edificio de Laboratorios, Docencia e Investigación) en el cual podremos llevar a cabo las pruebas y ensayos pertinentes para alcanzar el objetivo que aquí se plantea. La existencia de estas instalaciones otorga la posibilidad de recreación de condiciones de viento reales presentes a la intemperie, pero bajo la extraordinaria virtud de estar en un lugar dotado de todos los medios necesarios para la parametrización y sensorización que necesitamos a la hora de desarrollar el sistema de adquisición y control.

En primer lugar, se cree conveniente la definición de “Aerogenerador”, que se entiende como el dispositivo capaz de convertir la energía cinética del viento en energía eléctrica, pero ¿Cómo producirá esta energía? Los factores necesarios para llevar a cabo este proceso son:

- Orientación: Es de vital importancia orientar nuestro aerogenerador de cara al viento para poder aprovechar al máximo la energía cinética de este, en algunos casos esta orientación es automática gracias al registro de veletas situadas en un entorno próximo.
- Giro de palas: El viento se encargará de producir un giro sobre las palas, gracias a la existencia de cierta oblicuidad en su diseño, permitiendo que el empuje de las palas se realice en el mismo sentido de giro.
- Rotor: El rotor (conjunto de las palas acopladas en un buje en común) es el encargado de hacer girar un eje lento conectado a una multiplicadora que eleva la velocidad de giro.

- Generación: La multiplicadora, por medio de un eje rápido se encarga de transferir su energía al generador que se acopla posteriormente, produciendo así de esta forma la electricidad.
- Evacuación: La energía ya generada será conducida hasta una resistencia de carga que tendrá la obligación de transformar la corriente alterna generada, a corriente continua para su posterior almacenaje en las baterías. Una vez hecho esto, se inyectará en la red eléctrica por medio de un inversor, que la transformará de nuevo a corriente alterna.
- Monitorización: Destacar que todas las funciones críticas del sistema estarán monitorizadas y supervisadas, de forma que se lleve a cabo todo el proceso sin incidencias.

En nuestro caso, al hablar de Microeólica, hay que destacar que estos aerogeneradores están enfocados al uso personal, obteniendo por lo tanto pequeñas potencias de hasta 50 KW y suelen situarse en jardines y azoteas donde exista una gran cantidad y calidad del aire minimizando siempre dentro de nuestras posibilidades la existencia de turbulencias, para ello se suele realizar una evaluación eólica.

Una característica relevante de estos sistemas de generación es que es más eficiente que la denominada eólica de gran escala, sobre todo si la electricidad generada por el aerogenerador es consumida cerca del lugar de donde se obtiene, puesto que se minimizan las pérdidas acarreadas por su transporte, así como la posibilidad de almacenaje en baterías para horas de ausencia de viento. Entre los diferentes modelos de aerogenerador existentes podemos encontrar diferentes clasificaciones atendiendo a la disposición del eje, número de palas, orientación respecto al viento y potencia suministrada.

## DISPOSICIÓN DEL EJE

- **Eje vertical.** No necesita un sistema de orientación puesto que es omnidireccional, y sus componentes son instalados a ras del suelo facilitando su mantenimiento y disminuyendo costes. En cambio, su eficiencia es menor respecto a otros aerogeneradores y su desmontaje más engorroso. Entre sus modelos más conocidos, encontramos el aerogenerador con rotor Savonius y con rotor Darrieus. El de tipo Savonius es más simple y consiste en cilindros huecos desplazados respecto su eje, ofreciendo su parte cóncava al empuje del viento mientras que la convexa ofrece una menor resistencia al giro, aunque este tipo no es muy útil para la generación de electricidad debido a su elevada resistencia al aire. Por otro lado, el tipo Darrieus tiene mucho más éxito, con un eje vertical asentado sobre un rotor con dos o más palas en curva unidas al eje por los extremos, el diseño es simétrico y permite mayores velocidades que el Savonius, aunque no mayores que las de eje horizontal.

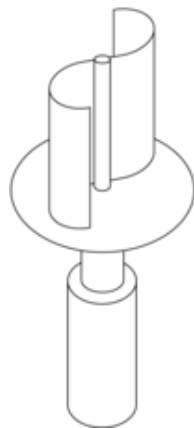


Ilustración 1. Aerog. tipo Savonius



Ilustración 2. Aerog. Tipo Darrieus

Existen también otros modelos de aerogenerador de eje vertical, aunque menos eficientes y bastante más complejos atendiendo a su diseño, fabricación, montaje y mantenimiento que los expuestos anteriormente, como son el Giromill y el Windside respectivamente:

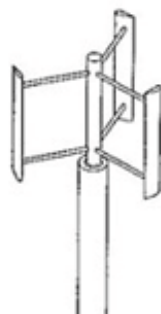


Ilustración 3. Aerog. Tipo Giromill

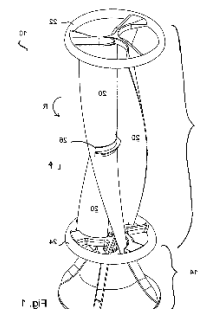


Ilustración 4. Aerog. Tipo Windside



- **Eje horizontal.** En la actualidad la gran mayoría de los aerogeneradores que se construyen son de eje horizontal tripala, ya que tienen una mayor eficiencia energética y alcanzan una mayor rotación, por lo que la multiplicación en forma de engranajes es mucho menor.

Estos modelos de eje horizontal se podrían dividir en función del número de palas empleado, por la orientación respecto al viento y el tipo de torre empleada:

#### Número de palas

- Tripala: 3 palas dispuestas cada  $120^\circ$ . Un mayor número de palas aumenta el peso y coste del aerogenerador.
- Bipala: ahorra el peso de una de las palas respecto a los aerogeneradores tripala, aunque necesitan mayor velocidad de viento para su actuación. Requieren de un diseño más complejo con rotor basculante y amortiguadores.
- Monopala: tienen las mismas desventajas que los Bipala y además necesitan un contrapeso en el lado opuesto de la pala para no originar vibraciones, por lo que el ahorro en peso no existe.

#### Orientación respecto al viento

- Orientados a barlovento: El rotor se enfoca de frente a la dirección del viento para conseguir un mayor aprovechamiento de su fuerza. Es sin duda la elección en la que más se confía a día de hoy para el diseño de aerogeneradores.
- Orientados a sotavento: El rotor se enfoca en sentido contrario a la dirección del viento dominante, aunque la estructura y la góndola resta de incidencia a las aspas, lo que reduce el aprovechamiento de dicho viento. Las aspas y góndola son construidos con una mayor flexibilidad que en las de barlovento.

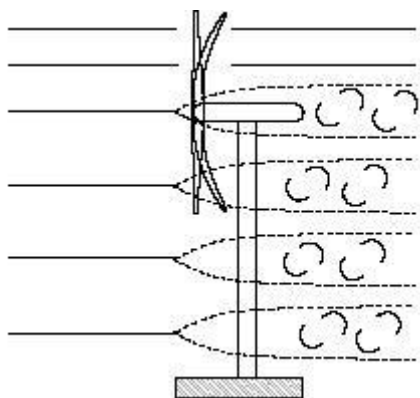


Ilustración 5. Orientación Barlovento

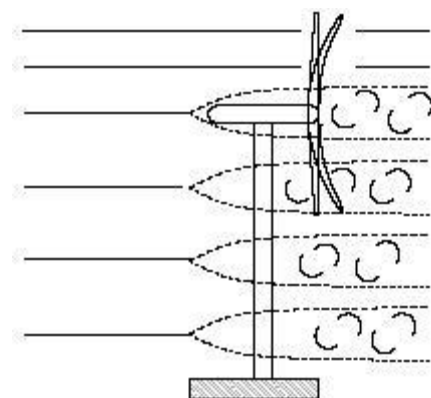


Ilustración 6. Orientación Sotavento

### Torre soporte

- Torres de celosía: Construidas mediante perfiles de acero y tornillería, tienen un menor coste y son sencillas de construir. Entre las desventajas existentes encontramos la necesidad de realizar revisiones periódicas.
- Torres tubulares: Formadas por tubos de acero de forma tubular o cónica que ofrecen en su interior espacio para los equipos de suelo.

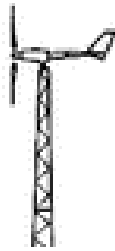


Ilustración 7. Soporte de Celosía

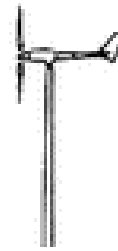


Ilustración 8. Soporte Tubular

### SEGÚN POTENCIA SUMINISTRADA

- **Equipos de baja potencia.** Asociados principalmente a una finalidad mecánica y proporcionan potencias que rondan los 50 KW, aunque se puede instalar más de un equipo en paralelo para generar una mayor potencia a la red. Suelen emplearse como fuente de energía para sistemas mecánicos o como suministro de energía en entornos aislados. Para ello, bien se puede almacenar en baterías que garanticen la continuidad de la cobertura energética o conectado directamente a la red, y se puede alternar con grupos electrógenos.
- **Equipos de media potencia.** Son los equipos que se encuentran en el rango de producción de 150 KW, su aplicación más usual es muy parecida a los equipos de baja potencia, pero para mayores requerimientos energéticos y no suelen estar conectados a baterías, por lo que únicamente se encuentran conectados a la red eléctrica o junto a equipos de respaldo.
- **Equipos de alta potencia.** Estos equipos son utilizados para producción de energía orientada a la venta, se encuentran conectados a la red y en centrales de conformado eoloeléctricas tanto en tierra firme como en entorno marino. La potencia generada ronda los 1.000 KW y los equipos elegidos para esta aplicación son los de eje horizontal tripala orientados a barlovento y con torre tubular.

Aquí en el laboratorio, disponemos de un aerogenerador de eje horizontal o VAWT (Vertical-Axis Wind Turbines) de un 1 KW y 1.5 metros de diámetro de rotor, este aerogenerador estaría comprendido dentro de una escala de baja potencia, tripala de eje vertical orientado a barlovento y de torre tubular,

## 2. Antecedentes

Hace ahora unos 6 o 7 años, se decidió situar el presente banco de ensayos en las instalaciones de la Universidad Politécnica, todo esto, posterior a su desmontaje y mudanza desde su antiguo establecimiento en las dependencias de Santa Lucía. Desde entonces, y gracias a localización privilegiada dentro de la escuela de ingeniería, y viéndose potenciada por la necesidad de algunos alumnos por realizar la Tesis de Final de Grado y Máster ha sido objeto de numerosos estudios y avances, buscando la eficiencia, mejora y desarrollo óptimo.

Sería de vital importancia mencionar a los anteriores compañeros pertenecientes tanto al Grado de Ingeniería Industrial como al Máster de Energías Renovables de la Universidad Politécnica de Cartagena, que han dedicado parte de sus esfuerzos a la presente instalación de ensayos para este tipo de aerogenerador de pequeña potencia, entre los que podemos encontrar a:

- Juan Carlos Serrano, con el título “*Elaboración de Banco de Ensayos para la Evaluación de Aerogeneradores de Pequeña Potencia de cara a Futuras Investigaciones para la Optimización de sus Parámetros*”.
- Francisco Javier Pardo, quién continuó con “*Optimización Eficiente de un Aerogenerador Vertical tipo Savonius-Darrius DS-300, y su Viabilidad para el Autoconsumo*”
- Y Natanael Rolffot Feliciano por último con “*Comparación de Aerogeneradores de Eje Horizontal y Vertical mediante Estudio Experimental*”

De forma un poco más global al proyecto en el que nos encontramos, no estaría demás mencionar algunos datos mundiales referentes a la energía eólica, ya que de esta forma dispondríamos de una serie de antecedentes que nos facilitarían ponernos en un contexto mucho más amplio que explicaría a la perfección el porqué de este proyecto.

Actualmente la energía eólica supone el suministro de 400.000 MW, o lo que es lo mismo una cifra aproximada del 3% del consumo mundial de electricidad, con unos objetivos de cara al futuro bastante esperanzadores superando el 5% en 2020 (600.000 MW) y el 9% en 2040, mientras que en Europa, a la cabeza, lucharemos por cifras del 20% para esta última fecha.

Entre los países líderes en la implantación de esta tecnología eólica a nivel mundial podemos encontrar en quinta posición España, que fue pionera y líder en el aprovechamiento del viento para la producción de electricidad. Unos 25 años después de la instalación del primer molino, se convirtió en el primer país del mundo donde la energía eólica fuese la principal fuente de generación eléctrica durante un año entero en porcentaje, con un 20.9% de la producción total.

En términos de cifras, la implantación se ha ralentizado en los últimos años, aunque España se sitúa con 23.000 MW producidos como segundo país europeo en potencial eólico solo por detrás de Alemania con 43.720 MW, y en el quinto lugar mundial, tras China (138.060 MW), EE.UU (71.000 MW) e India (25.200 MW).

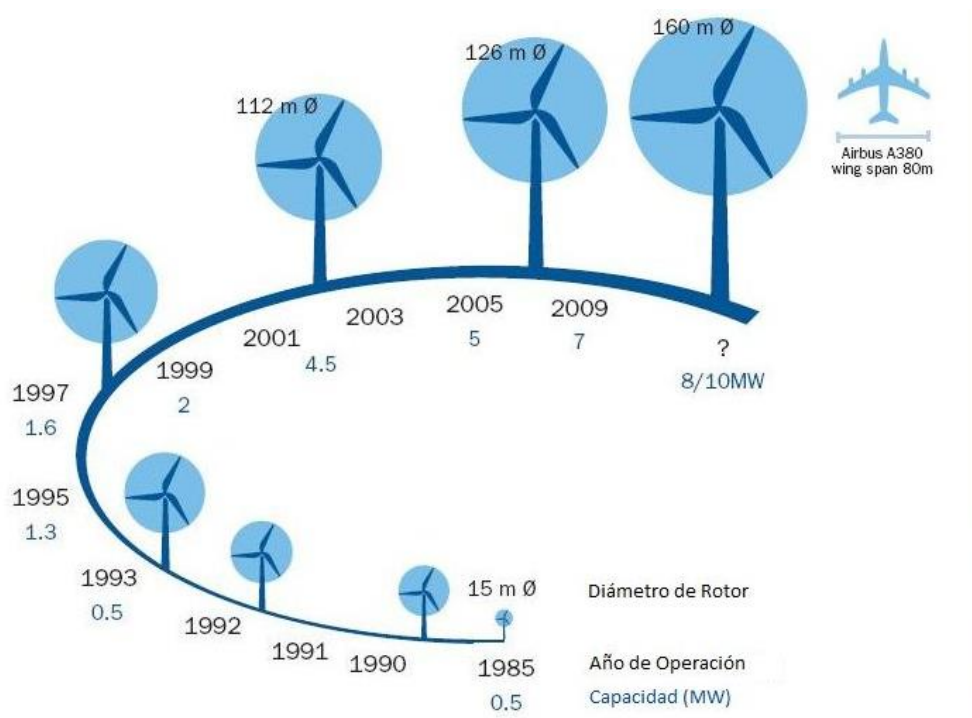


Ilustración 9. Evolución del aerogenerador

### 3. Objetivos

El principal objetivo que buscamos alcanzar con la realización de este proyecto, es el de crear un sistema LabVIEW que nos permita recoger todos y cada uno de los parámetros que estamos interesados en medir (Temperatura, velocidad de la corriente de aire, humedad, revoluciones del aerogenerador, intensidad y voltaje generado, y la frecuencia de los ventiladores), así como tener la posibilidad de controlar algunos de estos, como podría ser la frecuencia de giro de nuestros 4 motores trifásicos de unos 50 Hz cada uno, encargados de producir la corriente de aire que provoque el movimiento de nuestro aerogenerador, y con ello, estudiar las distintas curvas de valores obtenidas gracias a la instalación de numerosos sensores de instrumentación..

Por otro lado, está prevista la realización de diversas modificaciones a lo que instalación del aerogenerador se refiere respecto a lo existente y trabajo por mis compañeros en momentos anteriores, algunas de estas son:

- Instalación de bandejas, canaletas y tuberías para pasar los cables entre el aerogenerador, cuadros eléctricos y *Datalogger*.
- Instalación de un fusible de seguridad de unos 100 A entre las baterías de almacenamiento y el inversor.
- Creación de unos nuevos cuadros eléctricos más optimizados (reducción de fuentes de alimentación innecesarias y nueva instalación de cableado con punteras y canaletas para un aspecto más cuidado)
- Realización de planos para todo el cableado del banco de ensayos.
- Instalación de nuevos y un mayor número de anemómetros de hilo caliente que nos permitan una recolección de datos más precisa y la posibilidad de crear un mapa de velocidades frente al aerogenerador.

Para alcanzar los objetivos propuestos, hemos decidido realizar una memoria detallada con el fin de puntualizar y analizar cada uno de estos objetivos, la cual tendrá una estructura que incluirá los siguientes puntos principales:

- Filosofía de Funcionamiento.
- Elementos Requeridos.
  - Estructura
  - Actuadores
  - Instrumentación
  - Data Logger y Tarjeta Multiplexora
  - Aerogenerador
  - Otros equipos
  
- Disposición de los equipos en el banco de ensayos.
- Comunicación MODBUS.
- Sistema de control y adquisición de datos.
- Programación LabVIEW.
- Adquisición de datos.
- Propuesta de mejora.
- Conclusiones.
- Referencias.



Ilustración 10. Instalación renovable

## 4. Motivación

Como se ha explicado anteriormente, el proyecto que se está llevando a cabo se basa en el diseño de un sistema de adquisición y control de un aerogenerador de pequeña potencia. Eso tiene su origen en la necesidad de evaluar los recursos renovables eólicos, que se encuentran al alza en la actualidad, de una manera más precisa y en cualquier momento, sin la necesidad de disponer de una gran corriente de viento con diferentes grados de fuerza, lo que habría conllevado meses o incluso años conseguir dicho espectro de valores para poder llegar a una conclusión estable.

A este fenómeno se le suma la imposibilidad, o al menos dificultad, de disponer esta instrumentación tan delicada a la intemperie, por lo que la idea de realizar dichos experimentos en un banco de ensayos en el interior de un taller comienza a cobrar importancia.

La motivación que fomenta este tipo de análisis a día de hoy radica en que la energía eólica es una fuente de energía renovable, no contamina, es inagotable y reduce el uso de combustibles fósiles, origen de las emisiones de efecto invernadero que causan el calentamiento global. Además, la energía eólica es una energía autóctona, disponible en la práctica totalidad del planeta, lo que contribuye a reducir las importaciones energéticas y a crear riqueza y empleo de forma local puesto que no conlleva peligros inminentes de salud ni al ambiente a diferencia de otros casos de generación de energía.

Destacar por encima de todo que no genera residuos ni contaminación del agua, un factor importantísimo teniendo en cuenta la escasez de agua, ya que a diferencia de los combustibles fósiles y las centrales nucleares, la energía eólica tiene una de las huellas de consumo de agua más bajas, lo que la convierte en clave para la preservación de los recursos hídricos.

Respecto a sus ventajas económicas, podemos hacer hincapié en que los costos son sencillos de cuantificar, ya que el precio de la infraestructura eólica ha ido disminuyendo con el paso del tiempo de manera que en la actualidad producir este tipo de energía llega a ser factible para las naciones.



La generación de energía eólica se hace por lo general en lugares alejados de ciudades urbanas donde predomina el campo, este hecho puede ser un beneficio para los campesinos que viven en estas comunidades al convertirse en una fuente de trabajo estable en lugares en los que estas oportunidades son muy escasas, mientras que, a su vez, al producir este tipo de energías no es necesario pagar a los gobiernos derechos de emisión de gas de efecto invernadero comunes en este rubro.

Y en referencia al consumo, puede ser una opción viable para aquellas comunidades remotas en las que no existe infraestructura para la provisión de algún otro tipo de energía, pues para la generación de esta energía no se necesita cableado o transportación, basta con un aerogenerador que en muchas comunidades es artesanal, una pila y un convertidor.

Expuestas las grandes ventajas y por lo tanto motivaciones que me llevan a la realización de este proyecto, hay que mencionar que en presencia de este banco experimental será posible analizar con certeza el comportamiento de un aerogenerador, para encontrar dentro del rango de valores entre los cuales recomienda el fabricante mantener su punto operación, el coeficiente más óptimo y productivo de trabajo, y para ello tendremos en cuenta los siguientes pasos:

- Establecer diferentes puntos de operación por medio de la frecuencia de los ventiladores.
- Tomar mediciones.
- Almacenar los resultados obtenidos.
- Realizar comparaciones para diferentes periodos de tiempo, viendo si se producen curvas de mejora.
- Comparar con los resultados obtenidos por compañeros anteriores gracias al archivado de sus relativos resultados
- Llevar a cabo posibles ajustes para su optimización.
- Anotar los ajustes realizados si los hubiere y comenzar de nuevo.

El propósito es conocer el comportamiento de este aerogenerador horizontal y ver cómo pueden afectarles las variaciones de cada uno de los parámetros que se están midiendo en la curva de potencia generada.

Para garantizar la correcta realización de este proyecto, resultará trascendental el análisis de los estudios previos referentes a los aerogeneradores de carácter vertical y horizontal de nuestros compañeros, aunque cabe decir, que para ello requeriremos de conocimiento previos para saber interpretar dichos estudios, como pueden ser: el cálculo de la curva de potencia, capacidad de hallar el coeficiente de potencia, las posibilidades de generación de potencia por parte del aerogenerador, de la velocidad específica y por último del potencial eólico.



*Ilustración 11. Evolución de la potencia generada en España*

## 5. Filosofía de Funcionamiento

En las instalaciones “ELDI” (Edificio de Laboratorios, Docencia e Investigación), más concretamente en el Taller 0-08 de “Microeólica y Ensayos Aerodinámicos” encontramos el banco de ensayos sobre el cual se realizarán las recreaciones de comportamiento de un aerogenerador de pequeña potencia, perteneciente al Departamento de Ingeniería Térmica y Mecánica de Fluidos de la Universidad Politécnica de Cartagena.

Gracias al banco de ensayos, tendremos la oportunidad de crear condiciones reales de entorno dentro de un laboratorio cubierto, partiendo de una serie de requisitos que deberíamos tener en cuenta como son el caso de la temperatura ambiente, la presión y la velocidad del viento que nosotros consideremos oportuna, y de esta forma determinar el comportamiento por medio de numerosas tomas de mediciones de nuestros sensores, los cuales son dirigidos a una tarjeta multiplexora fijada al llamado “*Data Logger*”.

Puesto que nuestra atención se centra en la actuación del aerogenerador y su potencia generada gracias al viento, tenemos que remarcar que nuestras instalaciones cuentan con una serie de ventiladores compuestos por 4 motores trifásicos cuyo eje rotativo se encuentra unido a unas aspas, que son las encargadas de generar la corriente de aire necesaria para dicha actuación, obteniendo las condiciones de aire necesarias en cualquier momento. Estos motores se encuentran anclados en una estructura metálica diseñada para soportar tanto su peso y empuje como los momentos, vibraciones y esfuerzos creados durante su funcionamiento.

Tal y como hemos indicado en el párrafo anterior, tenemos la posibilidad de adecuar la velocidad de giro de nuestros motores asíncronos para conseguir la corriente de aire deseada en cada medición, para que esto ocurra, es necesario el comando de estos motores por medio de un variador de frecuencia, o lo que es lo mismo, un regulador de intensidad que limita su paso a los motores, provocando una mayor o menor frecuencia de revolución, teniendo su reflejo en una corriente más o menos abundante. Así, gracias a las diferentes velocidades de viento, tenemos la posibilidad de recoger distintos valores y generar una correcta curva de potencia, pudiendo así realizar comparaciones entre los valores prácticos y los teóricos aportados por el fabricante en el manual de información.

Otra de las ventajas de este banco de ensayos recae en la obtención a tiempo real de datos del entorno por los diferentes sensores instrumentales presentes alrededor del aerogenerador, sobre una base regular de tiempo, el cual definiremos gracias al programa que diseñaremos encargado de la adquisición de los datos, entre los sensores encargados de la captación de estos parámetros encontramos:

- Anemómetros de hilo caliente.
- Transductor de tensión.
- Transductor de intensidad.
- Rotámetro digital.
- Sensor de temperatura (PT 100).
- Barómetro electrónico.

A su vez numeraremos los componentes y equipos presentes también en el equipo que procederán a ser definidos más adelante, por el papel fundamental que juegan dentro del desarrollo del proyecto:

- Base o estructura portante.
- Actuadores: Variadores de frecuencia y motores asíncronos.
- Adquisición de datos: *Data Logger* y tarjeta multiplexora.
- Almacenamiento y transformación de potencia: 2 Baterías (12V DC), Inversor (12V DC) y controlador de carga *Whisper 200*.
- Aerogenerador *Whisper 200*.

## 5.1 Descripción del Proceso

Para que nos hagamos una idea de cómo estaría constituido el proceso, procederemos a realizar una breve explicación de su filosofía de funcionamiento.

En primer lugar, conectaremos el banco de ensayos a la red trifásica del laboratorio, esta conexión derivaría en dos magnetotérmicos dispuestos en un primer cuadro eléctrico, encargados de proteger nuestra instalación de los posibles sobrepicos de tensión que podrían darse, y a su vez tendremos la posibilidad de aislar el banco cuando estemos conectados a la red.

Al otro lado de un primer magnetotérmico de 4 bornes (3 líneas y un neutro) tendremos dos derivaciones a los dos variadores de frecuencia, que serán los encargados de comandar de los motores trifásicos por parejas. Estos motores tendrán la capacidad de crear la corriente de aire necesaria para mover las palas de aerogenerador, creando así corriente eléctrica derivada de su movimiento. Esta corriente será de carácter alterno, y vendrá dada en 3 líneas diferentes, las cuales serán redireccionadas al controlador de carga encargado de transformar la corriente alterna en continua y de esta forma tener la posibilidad de cargar las baterías de 12V.

A la salida en continua de las baterías dispondremos de fusible encargado de proteger el inversor que se encuentra a continuación, que tendrá la misión de volver a transformar la corriente continua en alterna, y hacerla apta para su consumo por medio de un enchufe de 230V.

El segundo magnetotérmico nombrado con anterioridad, dispuesto a la entrada de corriente trifásica del sistema, contará con dos bornes, lo que significa que además del neutro solo tendremos la posibilidad de acoplar una de las 3 líneas, obteniendo de esta forma un voltaje monofásico. De esta línea monofásica alimentaremos dos enchufes ya dispuestos en un segundo cuadro, y un tercer magnetotérmico de dos bornes encargado de individualizar todo lo referente a la instrumentación.

A este tercer magnetotérmico irán conectadas las 3 fuentes de alimentación que suministrarán la tensión al voltaje adecuada a los sensores dispuestos en el entorno del aerogenerador.

## 5.2 Definición de Curva de Potencia

Para tener la posibilidad de conocer con mayor precisión todos los aspectos necesarios, es fundamental estudiar algunos campos como puede ser la curva de potencia, o en su defecto el coeficiente de potencia arrojado por el aerogenerador.

La curva de potencia se podría estimar mediante la curva de su coeficiente de potencia, donde el coeficiente de potencia puede ser calculado en función del radio de las palas (área de barrido), densidad del aire y velocidad del viento. Este coeficiente de potencia nos indica con qué eficiencia el aerogenerador convierte la energía del viento en electricidad y lo hallamos simplemente dividiendo la potencia eléctrica disponible por la potencia eólica de entrada, para medir como de técnicamente eficiente es un aerogenerador. En otras palabras, tomamos la curva de potencia y la dividimos por el área del rotor para obtener la potencia disponible por metro cuadrado de área del rotor. Posteriormente, para cada velocidad del viento, dividimos el resultado por la cantidad de potencia en el viento por metro cuadrado.

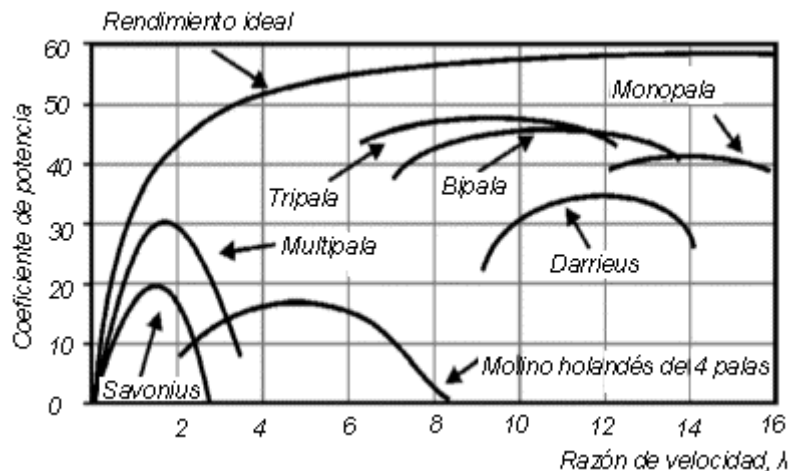


Ilustración 12. Rendimiento Ideal en función del tipo de aerogenerador

El gráfico muestra la curva del coeficiente de potencia para un aerogenerador típico en función de la razón de velocidad. Aunque la eficiencia media de estos aerogeneradores suele estar por encima del 20 por cien, la eficiencia varía mucho con la velocidad del viento. Como puede observar, la eficiencia mecánica del aerogenerador más alta (en este caso del 47%) se da a velocidades alrededor de 9 m/s.

Este valor ha sido elegido deliberadamente por los ingenieros que diseñaron la turbina, ya que a bajas velocidades de viento la eficiencia no es tan alta, ya que no hay mucha energía que recoger, mientras que, a altas velocidades del viento, la turbina debe disipar cualquier exceso de energía por encima de aquella para la que ha sido diseñado el generador. Así pues, la eficiencia interesa sobretodo en la zona de velocidades de viento donde se encuentra la mayor parte de la energía.

El coeficiente de potencia máxima teórico máximo se denomina el límite de Betz y es 0,59 para un aerogenerador ideal, mientras que el valor medio de este aerogenerador horizontal rondará entre 0.40 y 0.50.

La fórmula que emplearíamos y que por lo tanto debe de ser función de la densidad del aire, área de barrido, velocidad del viento y potencia eléctrica es:

$$C_p = \frac{\text{Potencia Eléctrica}}{\text{Potencial Eólico}} = \frac{V \cdot I}{\left(\frac{\rho \cdot A \cdot V_v^3}{2}\right)} = \frac{\text{Voltaje} \cdot \text{Intensidad}}{\left(\frac{\text{Densidad Aire} \cdot \text{Área Barrido} \cdot \text{Velocidad Viento}^3}{2}\right)}$$

- **Cálculo de la Densidad del Aire:**

Para poder hallar la densidad del aire en función de la velocidad del viento y la posición en el mapa ortogonal establecido al frente de nuestro aerogenerador, utilizaremos la ecuación de los gases ideales o gases perfectos.

$$P \cdot V = n \cdot R \cdot T$$

Donde:

P = Presión Absoluta

V = Volumen

n = Moles de gas

R = Cte. universal de los gases ideales

T = Temperatura Absoluta

Puesto que los moles de gas, es la división de la masa del gas entre su masa molar  $n = \frac{m}{M}$ , tendríamos:

$$P \cdot V = \frac{m}{M} \cdot R \cdot T$$

Y si despejamos el volumen partido de la masa de gas, que sería la densidad específica del aire, tendríamos:

$$\frac{P \cdot M}{R \cdot T} = \frac{m}{V} \quad \rightarrow \quad \frac{P \cdot M}{R \cdot T} = \rho$$

Una vez obtenida la ecuación definitiva, solo tendremos que sustituir por los valores adecuados:

- $R = 8.314 \frac{J}{mol \cdot K}$
- $M(g/mol) = 28.97 \text{ g/mol} = 0.02897 \text{ kg/mol}$
- $P(mbar) = 1013 \text{ mbar}$
- $T(^{\circ}K) = 273 + T(^{\circ}C) = 273 + 15 = 288 \text{ }^{\circ}K$

Obteniendo así una densidad de aire a nivel del mar de  $\rho = 1.225 \text{ kg/m}^3$

- **Cálculo del área de barrido:**

Para calcular el área de barrido de las aspas de nuestro aerogenerador, bastará con emplear la fórmula para el cálculo del área de una circunferencia, que consiste en:

$$A = \pi \cdot r^2$$

Donde:

A = Área de barrido

r = longitud de pala

Obteniendo como resultado de esta fórmula un área de barrido igual a  $A = 1.1309 \text{ m}^2$



- **Cálculo de la velocidad del viento:**

La variable de la velocidad del viento será con la cuál nosotros podemos jugar en función de la frecuencia a la que establezcamos los variadores de frecuencia. En una primera instancia hallaremos la frecuencia eléctrica mínima para que los 4 ventiladores generen la rotación de nuestro aerogenerador, definida en aproximadamente sobre los 25 Hz.

Para hallar la curva de potencia de nuestro aerogenerador procederemos a ir aumentando la frecuencia de nuestros variadores en intervalos de unos 3Hz, midiendo la respectiva velocidad del viento producido gracias a los anemómetros instalados, y en última instancia, gracias a la fórmula anteriormente descrita, hallar su factor de potencia para esa determinada frecuencia de giro de los motores asíncronos.

## 6. Elementos Requeridos

### 6.1 Base o Estructura portante

Para que todo lo anteriormente mencionado pueda tener un sentido físico, es más que necesaria la presencia de una estructura que sea capaz de soportar todos los componentes, actuadores y sensores de los que consta nuestro proyecto.

Las adversidades ante las que se someterá nuestra estructura pueden ser tan intensos y dispares como son el empuje del viento, el peso de los motores, las vibraciones del rotor del aerogenerador y los ventiladores, y si es posible, que no conduzca la electricidad que puedan generar los estatores de los motores asíncronos, todo esto sin dejar de lado otras características como son la posibilidad de un fácil montaje, que sea de carácter modular para que se puedan ir ajustando las diferentes distancias existentes entre el aerogenerador y los motores, así como su altura, y por último pero no menos importante debe ser ligera para su fácil manipulación en todo el entorno del laboratorio.

Por ello, el departamento se decantó por que el material de fabricación de la estructura fuese el aluminio, ya que este cumple con creces los requisitos a los que se enfrentará a lo largo de los ensayos. Una vez elegido el material, se consideró la posibilidad de que dicha estructura fuese conformado por lo que conocemos como perfiles de aluminio, ya que estos facilitarían toda la labor de instalación de instrumentación, otorgándole a su vez una estructura flexible y modular, ya que todos los perfiles estarían unidos por medio de tornillos anclados a los perfiles, y no existiría ninguna necesidad de realizar soldaduras, de esta manera, es fácilmente modificable la altura y distancias a las que hemos hecho referencia correspondientes al aerogenerador y los motores.

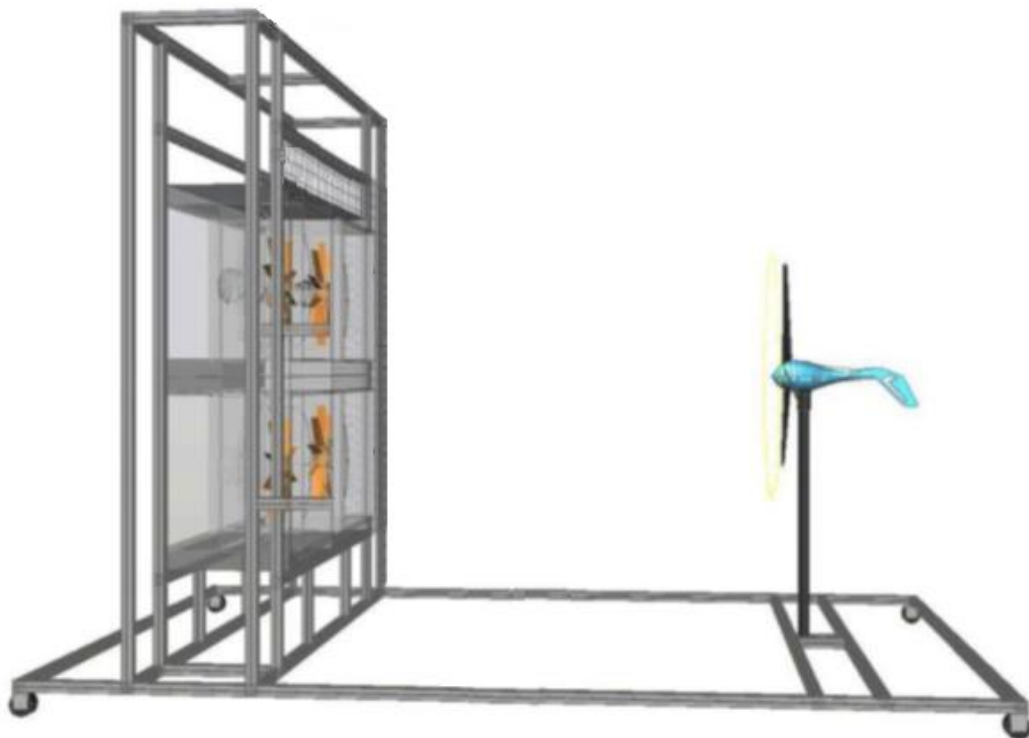
Estos perfiles tendrán unas dimensiones de 40x40mm, y contarán con acopladores de tornillo para el amarre de paneles de rejilla también de aluminio, con un tamaño de rejilla de unos 25x25mm.

Destacar que la superficie ocupada por nuestro banco de ensayos será de unos 10,8 m<sup>2</sup>, con un ancho establecido en 2,7 metros y un largo de 4 metros.

La razón de instalar este tipo de rejillas en forma de jaula alrededor de los motores y el molino viene dada por dos causas fundamentales:

- Para poder obtener unas ráfagas de viento homogéneas, ya que, si estos paneles no permitieran el paso del viento, se crearían bastantes turbulencias en torno al aerogenerador, impidiendo un correcto funcionamiento de este, y por lo tanto un desaprovechamiento de los recursos, ya que la ráfaga se estamparía contra el panel situado detrás del molino, y su única posibilidad de drenaje sería desviándose hacia los lados dando origen a dichas turbulencias.
- Por otro lado, actúan como protección de seguridad de cara a las altas frecuencia de giro que alcanzan los motores y el aerogenerador, lo que se convierte en un peligro si se realizan labores de investigación en las zonas de influencia de estos.

La disposición de los paneles será, uno formando cada lado del banco de ensayos, y otro situado recubriendo los ventiladores, siendo esto un total de 5 paneles de rejilla.



*Ilustración 13. Banco de Ensayos*

## 6.2 Actuadores

Continuado con los componentes necesarios para la realización de este proyecto, posiblemente uno de los más característicos e imprescindibles sean los motores y variadores de frecuencia encargados de crear la corriente de aire necesaria en cada momento, para poder así recrear las condiciones naturales reales y por lo tanto de la caracterización de nuestro aerogenerador.

Un actuador es un dispositivo inherentemente mecánico cuya función es proporcionar fuerza para mover o “actuar” otro dispositivo mecánico. La fuerza que provoca el actuador proviene de tres fuentes posibles: Presión neumática, presión hidráulica, y fuerza motriz eléctrica (motor eléctrico o solenoide). Dependiendo de el origen de la fuerza el actuador se denomina “neumático”, “hidráulico” o “eléctrico” y en función del movimiento que ejerza puede ser lineal o rotativo.

Los actuadores lineales generan una fuerza en línea recta, tal como haría un pistón. Los actuadores rotatorios generan una fuerza rotatoria, como lo haría un motor eléctrico. En este artículo nos concentraremos en los actuadores rotatorios. En la próxima actualización tocaremos el tema de los actuadores lineales.

Los motores, junto a las aspas acopladas en el extremo de su eje de giro, poseen el nombre de ventiladores y se consideran actuadores eléctricos rotativos, y estos serán los elementos encargado de la generación del viento. A su vez, todo esto debe estar comandado con exactitud para poder alcanzar las condiciones óptimas necesarias, esto es posible gracias al papel que ejercen los variadores de frecuencia, cuya tarea es la de controlar el giro de estos ventiladores mediante la limitación de paso de la corriente proveniente de la toma trifásica a la que se encuentra conectada nuestro banco de ensayos.

A continuación, procederemos a describir más en profundidad los elementos expuestos en el párrafo anterior:

### 6.2.1 Unidades de Ventilación

Para la instalación de las unidades de ventilación, se ha optado por un montaje con un total de 4 unidades modelo CJHCH-56-4T-2 de la conocida marca *Sodeca*, en una disposición en 2 alturas dos a dos, de esta forma podemos ir estudiando el comportamiento del aerogenerador en función de la altura de incidencia del aire, teniendo así la oportunidad de crear un flujo más concentrado y focalizado.

En nuestro caso, disponemos de unas unidades de ventilación con aislamiento interior acústico y tapas de registro desmontable, cuyo ventilador posee una estructura en acero galvanizado con aislamiento térmico y una hélices de 56cm de diámetro fabricadas en poliamida PN6 reforzada con fibra de vidrio donde destaca su diseño helicoidal, lo que quiere decir que poseen un cierto grado de inclinación óptimo para el empuje de la mayor cantidad de aire hacia el aerogenerador con la menor potencia necesaria de activación.

Si hacemos un poco de hincapié en el motor asíncrono, deberíamos mencionar que este está compuesto por 4 polos y requiere de una conexión de alimentación trifásica. Es considerado un motor de eficiencia IE2 y posee un acabado anticorrosivo en chapa de acero galvanizado.

A continuación, se adjuntan una serie de características técnicas imprescindibles a la hora de realizar la instalación de nuestro motor en el banco de ensayos:

<i>Parámetros</i>	<i>Valor</i>	
<i>Velocidad de Giro</i>	1430 r/min	
<i>Intensidad máxima admisible</i>	Para 230 V	5.96 A
	Para 400 V	3.44 A
<i>Potencia Instalada</i>	1.5 kW	
<i>Caudal Máximo</i>	15300 m <sup>3</sup> /h	
<i>Nivel Presión Sonora</i>	72 dB	
<i>Peso Aproximado</i>	59.3 Kg	
<i>Dimensiones</i>	Alto	690 mm
	Ancho	825 mm
	Fondo	550 mm

Para poder definir con exactitud el comportamiento de nuestros motores asíncronos, nos remitiremos a las ecuaciones fundamentales propias de estos como son:

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot f \quad \text{donde } f = \frac{n \cdot p}{60}$$

De esta sustitución obtendríamos la siguiente ecuación:

$$\omega = \frac{2 \cdot \pi \cdot n \cdot p}{60}$$

Donde:

$\omega$  = Velocidad Angular (rad/s)

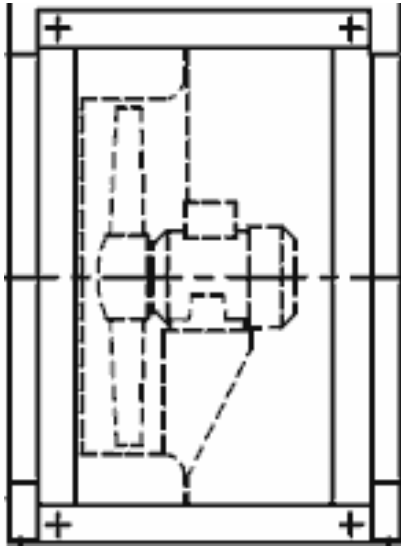
$f$  = Frecuencia (Hz)

$p$  = N° de pares de polos

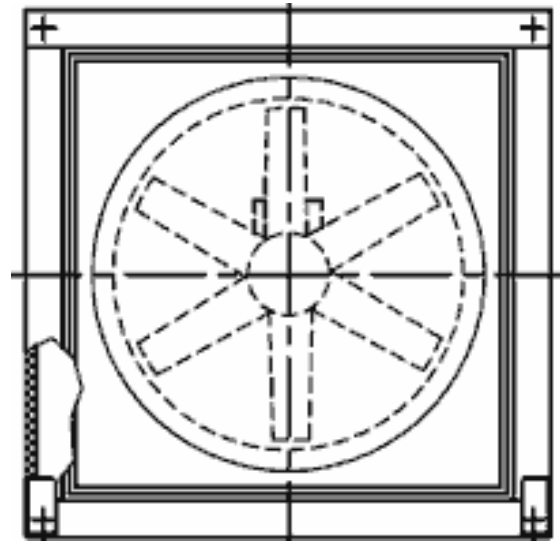
$n$  = Velocidad de giro (rpm)

Según nos indica el fabricante en el *datasheet*, la velocidad de giro es de 1.430 rpm, por lo que existe una disparidad respecto al dato arrojado por la fórmula cuando sustituimos por la frecuencia máxima de 50Hz, obteniendo una velocidad de giro de 1.500 rpm. Esto se debe a la reducción de aproximadamente un 6% para máquinas asíncronas. Para las diferentes frecuencias estudiadas obtendremos los siguientes datos de velocidad de giro:

$F$ (Hz)	Velocidad de giro (rpm)	
	Máquinas síncronas	Máquinas asíncronas
13	390	340
15	450	400
20	600	550
25	750	700
30	900	850
35	1050	1000
40	1200	1150
45	1350	1300
50	1500	1430



*Ilustración 14. Vista perfil izquierdo*



*Ilustración 15. Vista de alzado*



*Ilustración 16. Vista en perspectiva*

## 6.2.2 Variadores de Frecuencia

Para el comando de nuestras unidades de ventilación (Motores asíncronos) hemos optado por la instalación de dos variadores de frecuencia de la conocida marca *OMRON*, más en concreto el modelo 3G3 MX2-A4030-E.

Estos variadores serán alimentados por una corriente trifásica con un voltaje de 400V AC y tendrán una potencia máxima de salida de 3 kW, por lo que tendrá la suficiente potencia para comandar sin problemas cada uno de ellos dos motores *Sodeca* CJHCH-56-4T-2.

Antes de continuar, sería conveniente definir que es un variador de frecuencia y cuál es su función. Se definen como sistemas capaces de controlar la velocidad rotacional de un motor de corriente alterna a través del control de la frecuencia con la que dicho motor es alimentado, son también conocidos como drivers de frecuencia ajustable (AFD). La ley que rige su funcionamiento se basa en el principio de que la velocidad rotacional de un motor de corriente alterna, es función de la frecuencia suministrada y el número de polos que posee el estator.

Existe una ecuación fundamental que recoge todas estas variables con el fin de alcanzar el ajuste rotacional que se requiere:

$$n = \frac{120 \cdot f}{p}$$

Donde:

$f$  = Frecuencia (Hz)

$p$  = N° de polos

$n$  = Velocidad de giro (rpm)



Estos variadores se alimentan por medio de un voltaje de corriente alterna, el cuál transformará de AC a corriente continua DC gracias a un puente rectificador, a continuación, este voltaje es filtrado por un banco de capacitores interno, con el fin de suavizar el voltaje rectificado y reducir la emisión de variaciones en la señal. Posteriormente en la etapa de inversión, la cual está compuesta por transistores (IGBT), que encienden y apagan en determinada secuencia (enviando pulsos) para generar una onda de forma cuadrada de voltaje DC a una frecuencia constante y su valor promedio tiene la forma de onda senoidal de la frecuencia que se aplica al motor.

El proceso de conmutación de los transistores es llamado PWM "Pulse Width Modulation" Modulación por ancho de pulso.

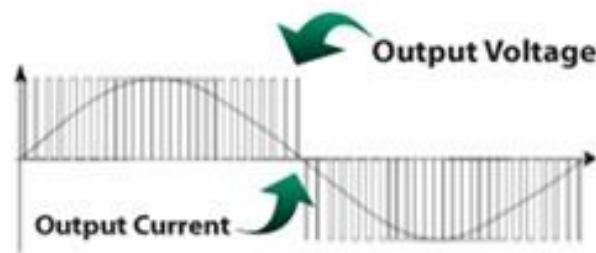


Ilustración 17. Ejemplo de modulación PWM

Hablando un poco más en concreto de nuestros variadores de frecuencia, estos tienen un tamaño medio en relación a los variadores de frecuencia de la gama MX2, el cuál vienen dado por los valores nominales de salida de corriente y el tamaño del motor asíncrono. Este variador en concreto dispone de un teclado básico y una interfaz de conectores para facilitar su uso.

La estructura del variador tiene un disipador de calor en la parte posterior de la carcasa y en los modelos de medio y mayor tamaño, a su vez incluyen un ventilador para mejorar el rendimiento del disipador de calor. Para una mayor comodidad, los orificios de montaje ya están pretaladrados en el disipador de calor.

Mencionar que el variador utiliza una interfaz de operador digital o teclado y el display de cuatro dígitos puede mostrar distintos parámetros de rendimiento, también posee LEDs que indican si las unidades de visualización son hercios o amperios, o la presencia de alimentación externa, el modo Run/Stop y el estado.

La entrada de alimentación y el cableado trifásico del motor se conectan en la fila inferior de terminales, mientras que la fila superior de terminales de alimentación se conecta a unidades de frenado opcionales o a la reactancia de enlace de c.c.

Algunos parámetros característicos de nuestro variador de frecuencia, que consideramos de conocimiento esencial por parte del instalador, y en este caso, de mi parte también son los siguientes:

<i>Parámetros</i>	<i>Valor</i>
<i>Tamaño del Motor Aplicable</i>	4 kW / 3 kW
<i>Capacidad Nominal a 380V</i>	5.7 kVA / 4.7 kVA
<i>Pérdida al 100% de Carga</i>	125 W
<i>Eficiencia a carga nominal</i>	96%
<i>Tensión nominal de Entrada</i>	Mínima: 380V – 15% Máxima: 480V + 10%
<i>Tensión nominal de Salida</i>	Proporcional a la entrada
<i>Corriente nominal de Salida</i>	7.2A / 8.8A
<i>Par de Arranque</i>	200% a 0.5Hz
<i>Peso del Variador</i>	1.9Kg
<i>Frecuencia de Salida</i>	50/60 Hz ± 5%

Destacar para futuros ensayos el significado de un error propiciado por las unidades de ventilación que aparece en la pantalla del variador de frecuencia como es el error E053, o lo que es lo mismo:

***“Protección contra sobrecarga del motor Cuando se detecta una sobrecarga del motor mediante la función termo electrónica, el convertidor falla y desactiva su salida. Compruebe que el modelo térmico se ha definido correctamente en el parámetro b012, b013, b910, b911 y b912. Compruebe si la aplicación puede aceptar aceleraciones más suaves para minimizar los picos de corriente F002/F202/A092/A292). Compruebe si los parámetros del motor no se han definido correctamente (H020 a H034 o H005), dependiendo del método de control del motor (A044/A244).”***

-  Tecla de Run
-  Tecla Cycle
-  Tecla arriba
-  Tecla abajo
-  Tecla stop/reset
-  Tecla de SET

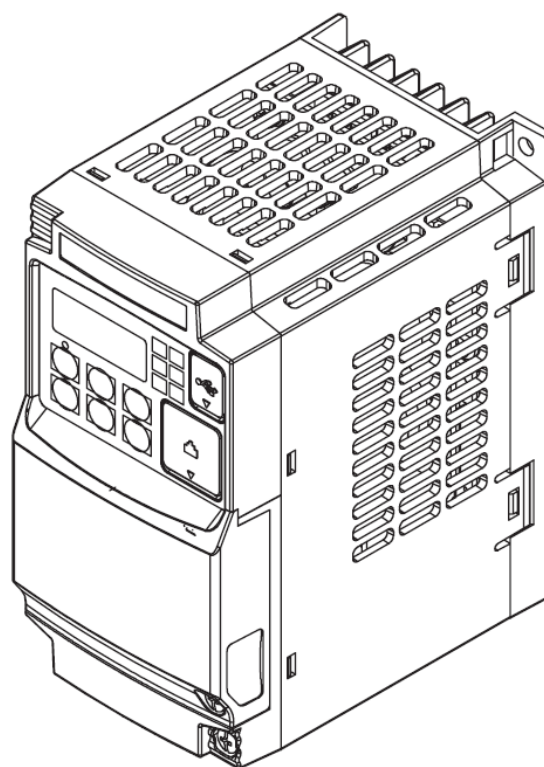


Ilustración 18. Teclado táctil

Ilustración 19. Variador de frec. Vista perspectiva

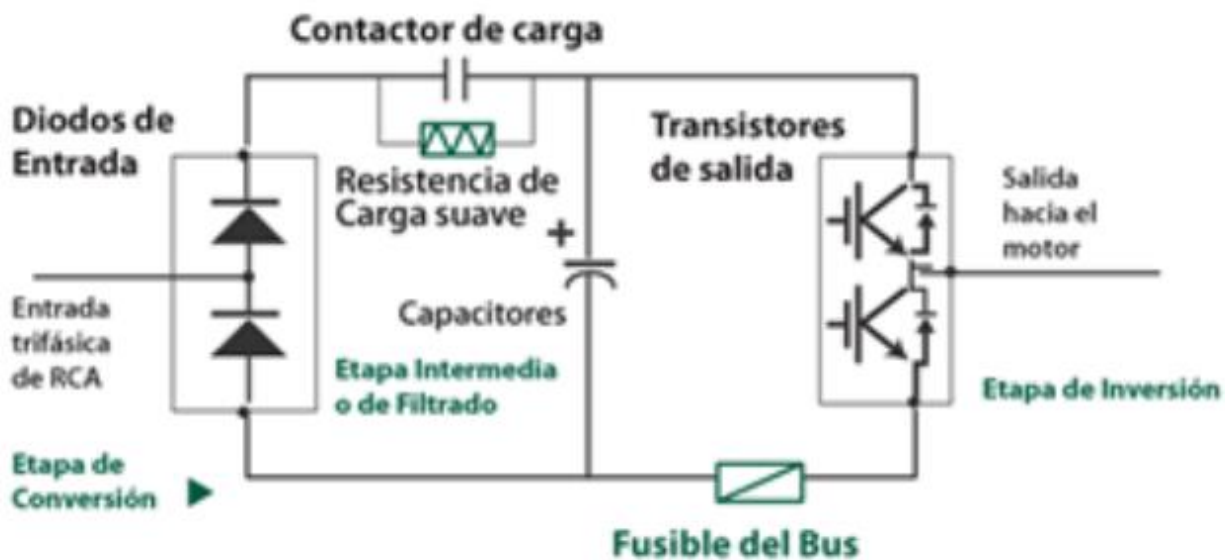


Ilustración 20. Circuito interno de un variador de frecuencia

### 6.2.3 Conexión de Actuadores

A continuación, se encuentra adjunto el mapa de conexiones referente a los actuadores anteriormente expuestos. Como principal mención, destacar que cada uno de los variadores tienen la posibilidad de controlar dos motores trifásicos, y que la conexión Modbus se realiza a través de los puertos “SN” y “SP” conectados en paralelo de ambos variadores de frecuencia, por medio de un adaptador RS-232 a RS-485.

Mencionar que, en el caso de no obtener un giro en el sentido buscado, el único cambio a realizar sería un intercambio entre dos de las fases de la entrada al variador.

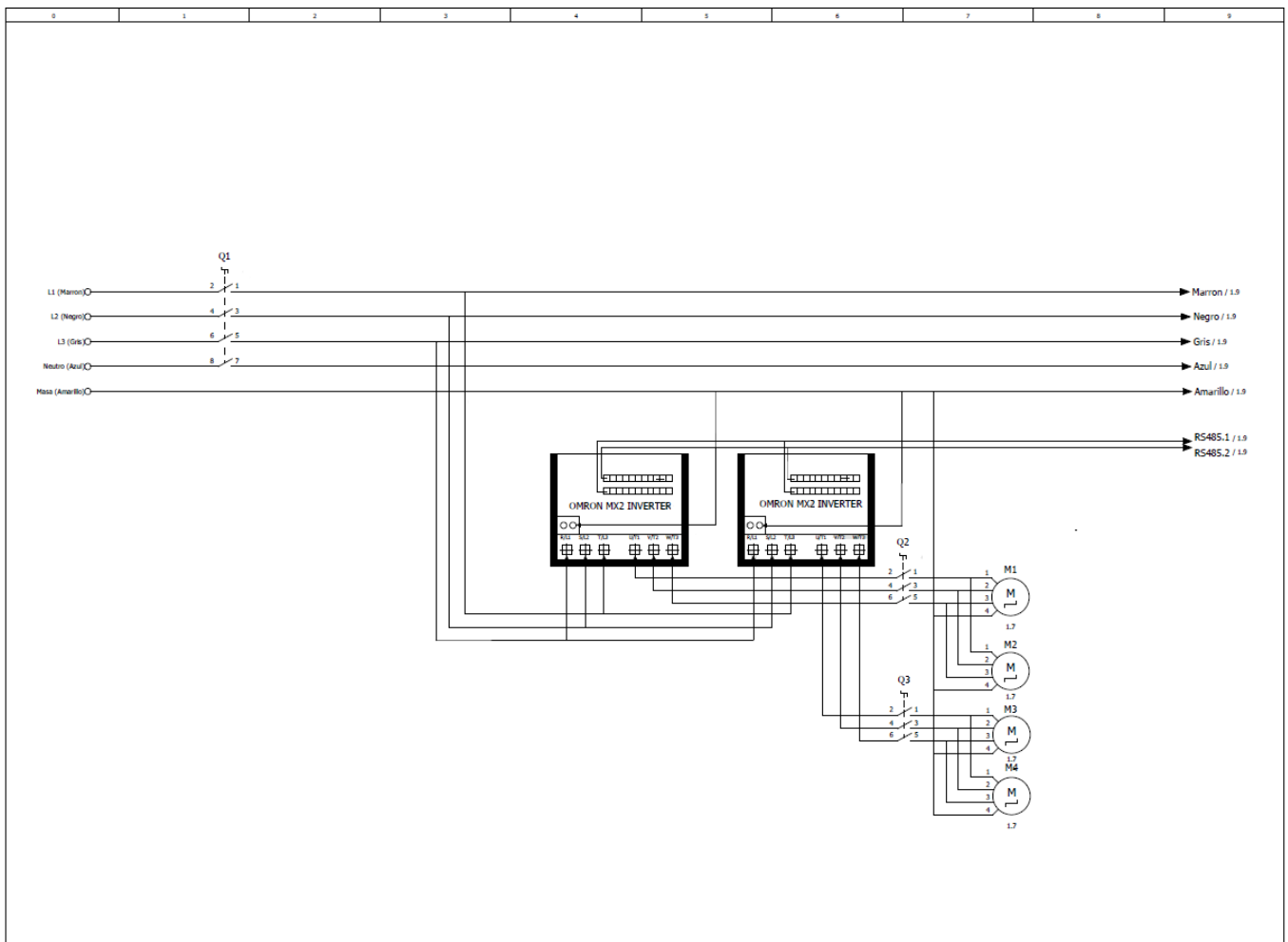


Ilustración 21. Cableado Actuadores

### 6.3 Instrumentación

La instrumentación electrónica es la técnica que se ocupa de la medición de cualquier tipo de magnitud física, de su conversión a magnitudes eléctricas y de su tratamiento para proporcionar información para un sistema de control o una persona.

Se aplica cuando se usa un sensor y se procesa la información proveniente de variables tanto físicas como químicas, a partir de las cuales se realiza la visualización y control de los procesos, empleando dispositivos electrónicos.

Definimos un sistema de medida electrónico como aquel cuya finalidad es obtener información acerca de un proceso y presentar dicha información en la forma adecuada a un observador o a otro sistema de control. Podemos distinguir 4 fases diferenciadas en un proceso de medida:

- Adquisición de datos: Fase en la cual las informaciones de las magnitudes son adquiridas y posteriormente convertidas en una señal eléctrica. Aquí es donde entrará en juego la calidad en forma de prestaciones de los instrumentos de medida para realizar un procesamiento adecuado.
- Procesamiento de datos: En esta fase procesamos la selección de datos y se procederá a su procesamiento por un DSP (Procesador digital de señal), basado en un procesador o microprocesador con unas instrucciones precargadas y definidas, un software y un hardware de acorde a la aplicación en la que se enfoca.
- Distribución de datos: Fase en la que se presentan los valores calculados a un observador o se transmite a un sistema secundario. Las señales poco adecuadas para ser procesadas deben ser corregidas en el acondicionamiento de señal.
- Acondicionamiento de señal: Se trata de: amplificar la señal, filtrarla, linealizar la respuesta y convertir su magnitud [0-10]V y/o [4-20]mA.

### 6.3.1 Anemómetros de hilo caliente

Antes de aportar una definición de cara al instrumento de medida, es necesario aportar una serie de conceptos previos. Decir que el viento es una magnitud la cual podemos controlar, por lo que será necesario ser medida para verificar las condiciones que buscamos. Este tiene dos magnitudes características: Velocidad y dirección.

La dirección mide la componente horizontal de la velocidad del viento, mientras que la dirección nos indica de donde viene el viento, importante destacar que no indica nunca hacia dónde va, y se mide en grados  $[0^\circ-360^\circ]$  girando en el sentido de las agujas del reloj en el plano horizontal visto desde arriba gracias a un indicador o veleta.

Por otro lado, tenemos el anemómetro que es un instrumento para medir la velocidad o rapidez de los gases ya sea en un flujo contenido, como el flujo de aire en un conducto, o en flujos no confinados, como un viento atmosférico. En nuestro caso en particular, el anemómetro de hilo caliente es mejor para medir con exactitud el flujo de aire a velocidades muy bajas, se componen de un alambre o elemento muy fino (del orden de varios micrómetros) calentado hasta una temperatura por encima de la temperatura ambiente, de manera que el aire que fluye tiene un efecto de enfriamiento. Puesto que la resistencia eléctrica de casi todos los metales depende de la temperatura del metal, se puede obtener una relación entre la resistencia del alambre y la velocidad de flujo. Esto fenómeno viene dado por el principio de convección entre el hilo calentado y el flujo que pasa a su alrededor, de manera que la velocidad del flujo y la tensión de salida es deducida sobre la base de las ecuaciones de transferencia de calor, gracias a la intensidad que atraviesa el pequeño hilo normalmente de Tungsteno.

De ahí que los anemómetros de alambre caliente sean extremadamente delicados, aunque a pesar de este inconveniente tienen una respuesta de frecuencia extremadamente alta y una resolución espacial fina en comparación con otros métodos de medición, y como tales se emplean casi universalmente para el estudio detallado de corrientes turbulentas.

Haciendo un poco de referencia al instrumento que se empleará a la hora de medir la velocidad del viento de nuestro banco de pruebas, destacar que utilizaremos un anemómetro de hilo caliente de la marca “Sensovant”, más en concreto el modelo EE671, cuyas principales características quedarán expuestas a continuación:

<i>Parámetros</i>	<i>Valor</i>
<i>Modelo</i>	EE671-V2xDKA
<i>Señal de Salida</i>	0 – 5 V
<i>Rango de Medida</i>	0 – 10 m/s
<i>Longitud del Cable</i>	2 m

Al hablar de un sensor activo, tendremos la obligación de alimentar el mismo y para ello hemos decidido instalar fuentes de alimentación que suministran un voltaje de 24VDC.

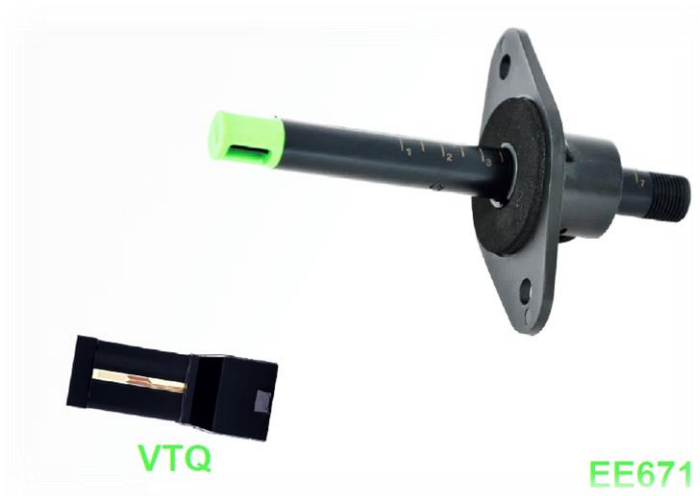


Ilustración 22. Anemómetro EE67

**EE671 analogue**

- UB+ .....white
- GND.....brown
- Analogue output ...green
- SDA<sup>(\*)</sup>.....grey
- SCL<sup>(\*)</sup>.....yellow

**EE671 analogue**

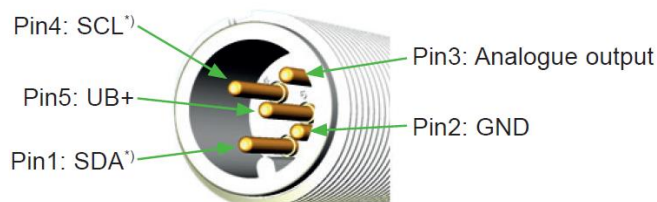


Ilustración 23. Relación de conexionado

### Curva de Calibración anemómetro Sensovant EE671

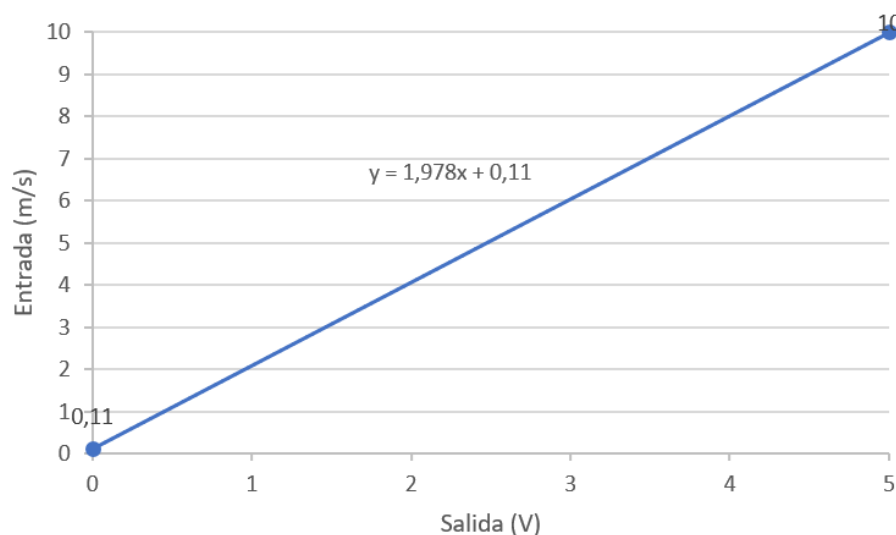
Definimos como una curva de calibración, la relación existente en un sensor de instrumentación electrónica, entre la entrada y su correspondiente salida, o lo que es lo mismo, la línea que une los puntos obtenidos aplicando sucesivos valores de la magnitud de entrada con sus respectivos valores de salida.

Denominaríamos sensibilidad a la pendiente de dicha curva de calibración, ya que, en el caso de ser una recta, la sensibilidad permanecería constante y diríamos que el sistema es lineal. Para poder calcular la curva de calibración lo más exacta posible, necesitaríamos conocer los límites y el fondo de escala (FS) de medida de dicho sensor.

Para las posiciones sobre el plano, se definirían una serie de valores de calibración para la velocidad dependiendo si es punta, media o eje, obteniendo unos valores de calibración entre 0,11V y 0.15V, de esta forma tan práctica, si los sensores no nos arrojan valores comprendidos entre estos límites existiría la posibilidad de que se haya realizado un mal cableado o rotura del sensor.

La ecuación que definiría la curva para estos anemómetros es:

$$V(m/s) = \left[ \frac{10(m/s)}{5(V)} - V_{calibración} \right] \cdot [V_{Lectura} - V_{Calibración}]$$





## Conexión de Anemómetros

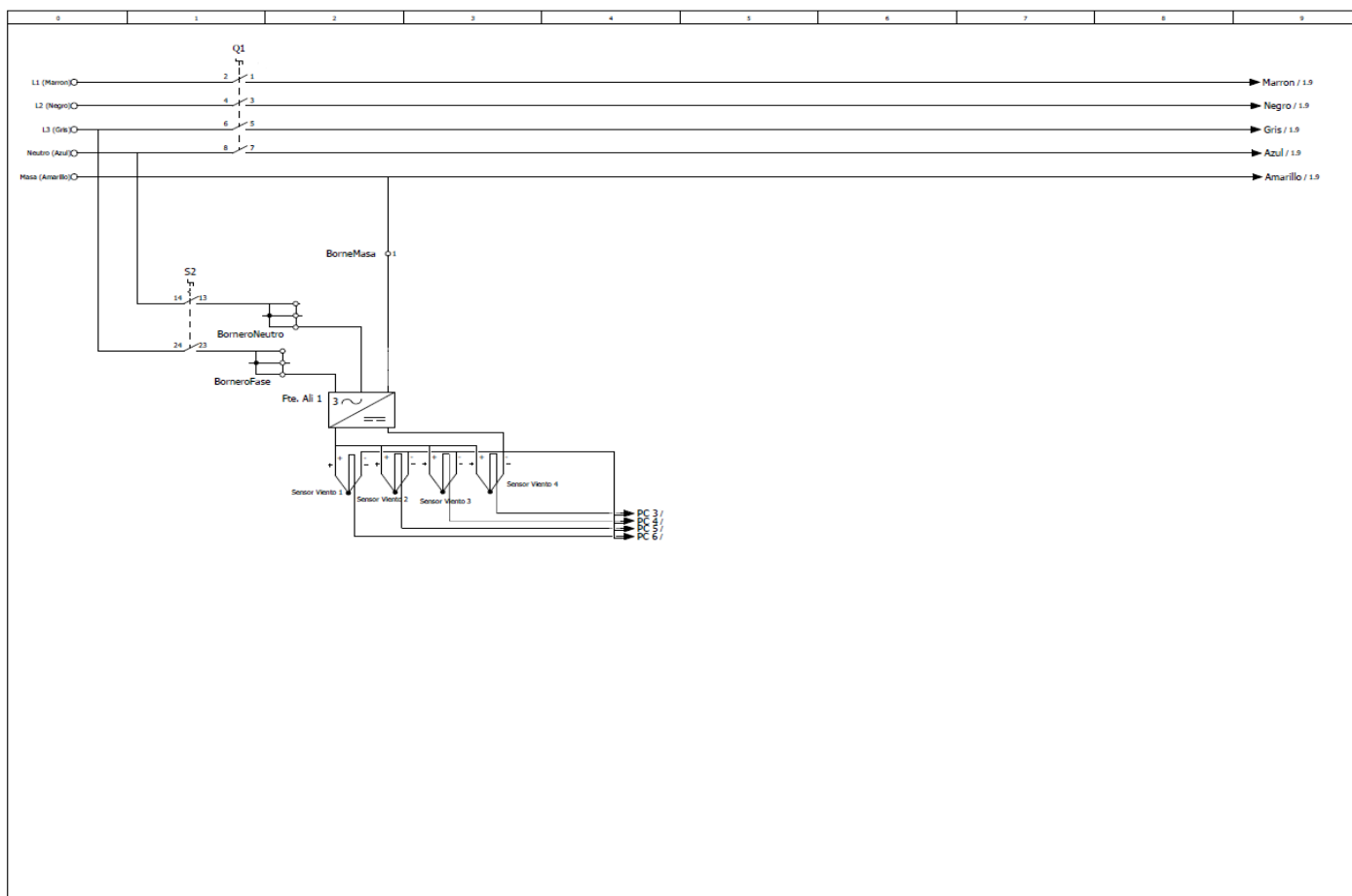


Ilustración 24. Cableado de anemómetros

### 6.3.2 Sensor de Temperatura Pt100

Los sensores Pt100 son un tipo específico de detector de temperatura RTD (detector de temperatura por resistencia), una de las características más importantes de los elementos Pt100 es que están fabricados con platino con una resistencia eléctrica de 100 ohmios a una temperatura de 0 °C y es con diferencia el tipo más común de sensor RTD. El incremento de la resistencia de la PT100 no es lineal, pero si creciente y característico del platino de tal forma que mediante tablas es posible encontrar la temperatura exacta a la que corresponde

Los sensores Pt100 están montados normalmente en algún tipo de vaina o funda protectora para formar una sonda de temperatura más robusta, y éstos se conocen comúnmente como sonda Pt100. Cabe destacar que la norma internacional IEC 751 especifica las tolerancias de los sensores RTD industriales donde hay dos tolerancias principales definidas para sondas Pt100: clase A, con una tolerancia de  $\pm 0,15$  ° C a 0 ° C y clase B, con una tolerancia de  $\pm 0,3$  ° C a 0 ° C.

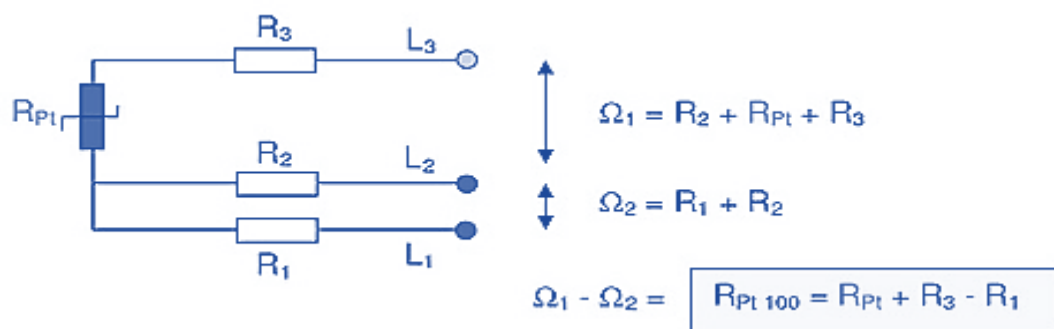
Entre las ventajas de este tipo de sensores de temperatura, podríamos mencionar que los de tipo Pt100 siendo levemente más costosos y mecánicamente no tan rígidos como los termopares, los superan especialmente en aplicaciones de bajas temperaturas. (-100 a 200 °), ya que pueden fácilmente entregar precisiones de una décima de grado con la ventaja de que no se descompone gradualmente entregando lecturas erróneas, si no que normalmente se abre, con lo cual el dispositivo medidor detecta inmediatamente la falla del sensor y da aviso. Este comportamiento es una gran ventaja en todo tipo de dispositivos donde una desviación no detectada de la temperatura podría producir algún daño grave.

Entre las principales precauciones que debemos tener en cuenta, es que es frecuente que los cables en ambientes muy húmedos se deterioren y se produzca un paso de corriente entre ellos a través de humedad condensada, lo que hará aparecer en el lector una temperatura menor que la real. Estas fugas también pueden ocurrir en óxido, humedad o polvo que cubre los terminales. En general no se debe montar un Pt100 en lugares sometidos a mucha vibración pues es probable que se fracture.



Ilustración 25. Sensor de temperatura PT100

En nuestro caso, el tipo de Pt100 de la que disponemos es la Pt100 a 3 hilos, por lo que el modo de conexión es el más común y utilizado para este tipo de procesos ya que resuelve bien el problema de error generado por los cables. El único requisito es que los tres cables tengan la misma resistencia eléctrica pues el sistema de medición se basa (casi siempre) en el “puente de Wheatstone”.



### Curva característica Pt100

Destacar de la curva de calibración de nuestro sensor resistivo Pt100 que la variación de la resistencia puede ser expresada de manera polinómica como se muestra a continuación. Por lo general, la variación es bastante lineal en márgenes amplios de temperatura.

Si hacemos algo de hincapié en algunos de los cálculos numéricos referidos a la variación de temperatura del entorno, destacar el uso de la fórmula fundamental para la variación de la resistencia en función de dicha temperatura:

$$R = R_0 \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta T)$$

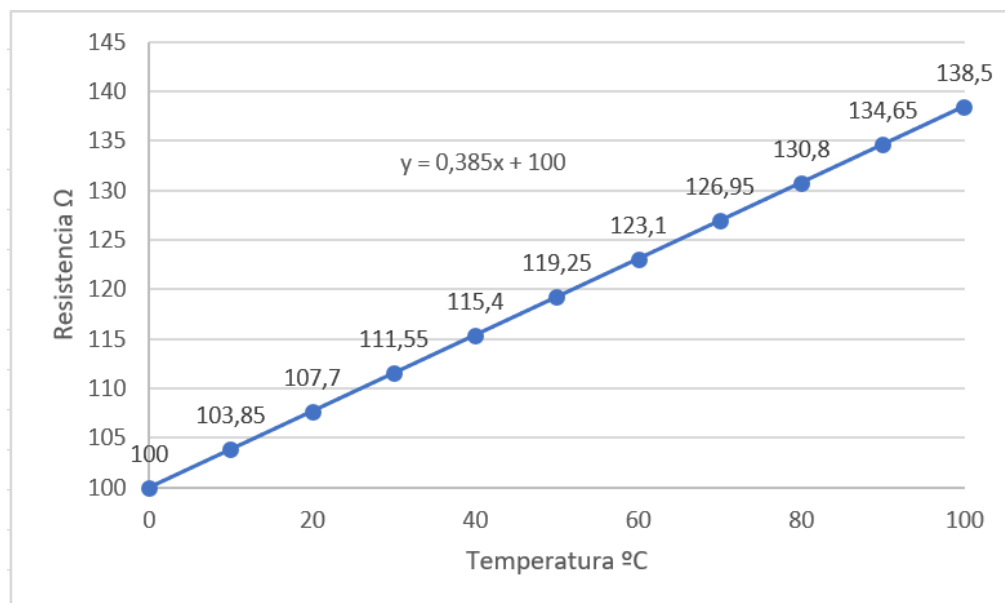
Donde:

$R$  = Resistencia a la  $T^a$  del entorno en  $\Omega$ .

$R_0$  = Resistencia a la  $T^a$  de referencia  $T_0$  en  $\Omega$ .

$\Delta T$  = Desviación/Incremento de temperatura respecto a  $T_0$ .

$\alpha$  = Coeficiente de  $T^a$  del conductor especificado a  $0^\circ\text{C}$ . Para el platino su valor es de  $0.00385 \Omega$ .



### 6.3.3 Transmisor de Temperatura TxIsoRail 4-20mA

Los transmisores de temperatura son los encargados de convertir la señal de determinados sensores, como pueden ser termorresistencias, termopares o potenciómetros en una señal de salida estandarizada y habitual en la industria (0 ... 10 V ó 4 ... 20 mA). Los transmisores de temperatura nos permiten configurar el tipo de sensor, el Span, y otras opciones como la señalización de error o la identificación del punto de medición.

En nuestro caso, nuestro transmisor de temperatura transformará la señal captada por el Sensor Pt100 que trabaja entre rangos de -200°C a 600°C, a una medida de intensidad que oscilará entre los más que conocidos 4-20mA, todo esto con una precisión total del 0.15%, por lo que el máximo error posible será:

$$Span \cdot \% Error = [-200 - 600] \cdot 0.15 = 800 \cdot 0.15\% = 1.2^{\circ}C$$

Es importante mencionar a grandes rasgos como se pondría en operación dicho transmisor de temperatura, aunque ya debería de fábrica perfectamente calibrado:

- Para corregir pequeñas variaciones en la señal de salida, bastaría con presionar la tecla identificada como ZERO en el frontal del transmisor.
- Después de 2 segundos de pulsar la tecla ZERO, la corriente de salida comenzará a aumentar hasta 0.80 mA fuera del rango de valores, por lo que debemos monitorizar la salida y soltar la tecla cuando la corriente alcance el valor deseado.



Ilustración 26. Trasmisor de temperatura TxRail

Respecto a la su instalación eléctrica, a continuación, se adjunta un esquema para su conexión a un sensor Pt100 de 3 hilos, donde los terminales 1.2 y 3 son los dedicados a dicha conexión de entrada. Para la conexión de la fuente de tensión de 24 VDC anteriormente mencionada, esta se llevará a cabo en los terminales 5 y 6 del transmisor, siempre sin olvidarnos de la conexión con el “Data Logger” situado entre la salida positiva de la fuente de tensión o V+ y el terminal 5.

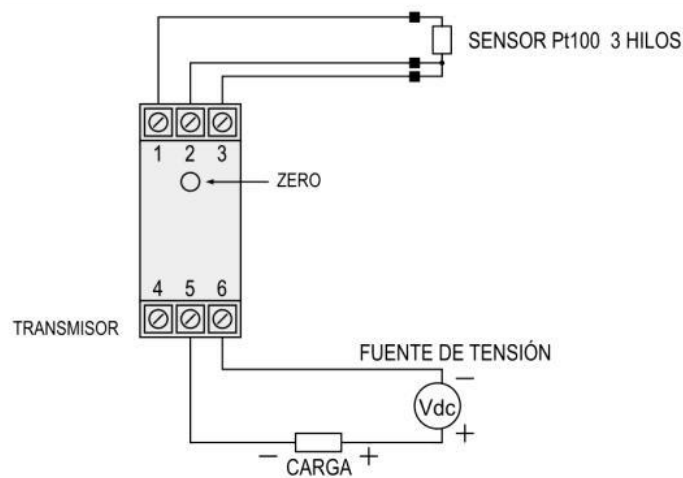


Ilustración 27. Conexión de componentes al transmisor de Tª

Entre las principales especificaciones propias del transmisor de temperatura TxIsoRail 4-20 mA del fabricante Novus, que son de considerada importancia para su correcto funcionamiento, instalación y por supuesto a la hora de su elección tenemos:

<i>Parámetros</i>	<i>Valor</i>
<i>Entrada de Sensor</i>	-200 a 600°C
<i>Salida</i>	4 – 20 mA lineal a la entrada
<i>Impedancia</i>	15 Ω
<i>Salida</i>	2 m
<i>Resolución de salida</i>	0.001 mA
<i>Precisión Total (Pt100 + TxRail)</i>	0.15% + 0.15% = 0.3%
<i>Tiempo de respuesta</i>	< 500ms
<i>Alimentación</i>	12 – 35 VDC
<i>Tª de Operación</i>	- 40°C a 85°C
<i>Humedad ambiente</i>	0 – 90%

### Curva característica de Transmisor de Temperatura TxIsoRail 4-20mA

Partimos del principio de que el intervalo de entrada aceptado por nuestro transmisor es de 0 – 50 mV, y trabajaremos con la siguiente ecuación fundamental y curva característica:

$$T(^{\circ}C) = 3.125 \left( \frac{mV}{mA} \right) \cdot \left[ I_{Lectura}(A) \cdot \frac{1000 mA}{1 A} - 4 \right]$$

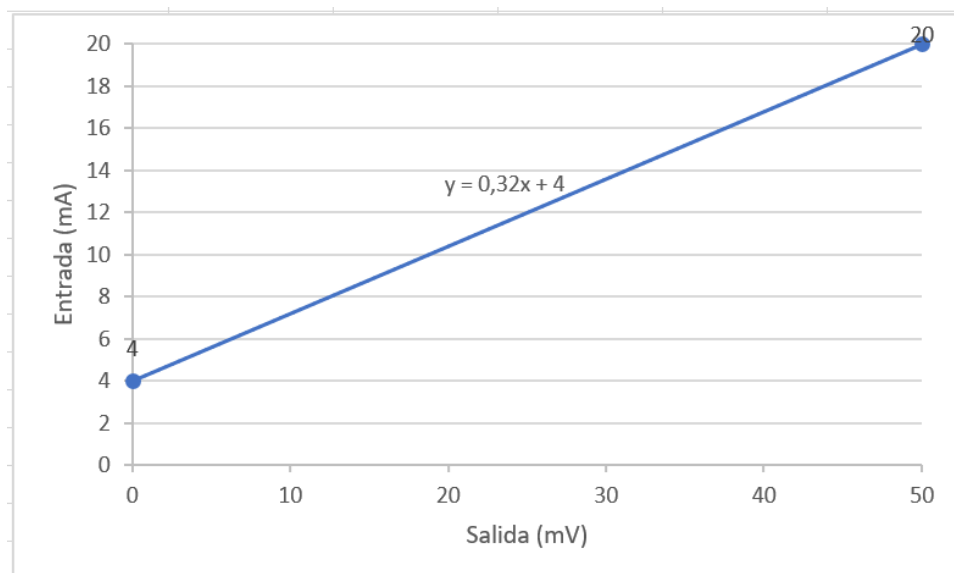
Teniendo en cuenta que:

$$R(\Omega) = \frac{V(V)}{I(A)} = \frac{V(mV)}{I(mA)}$$

Donde:

3.125 = Resistencia a la T<sup>a</sup> de referencia. Se obtiene dividiendo el Span de la entrada, entre el de salida, o lo que es lo mismo 50mV / 16mA.

$I_{Lect}$  = Intensidad arrojada a la salida.



## Conexión de Pt 100 junto a TxRail

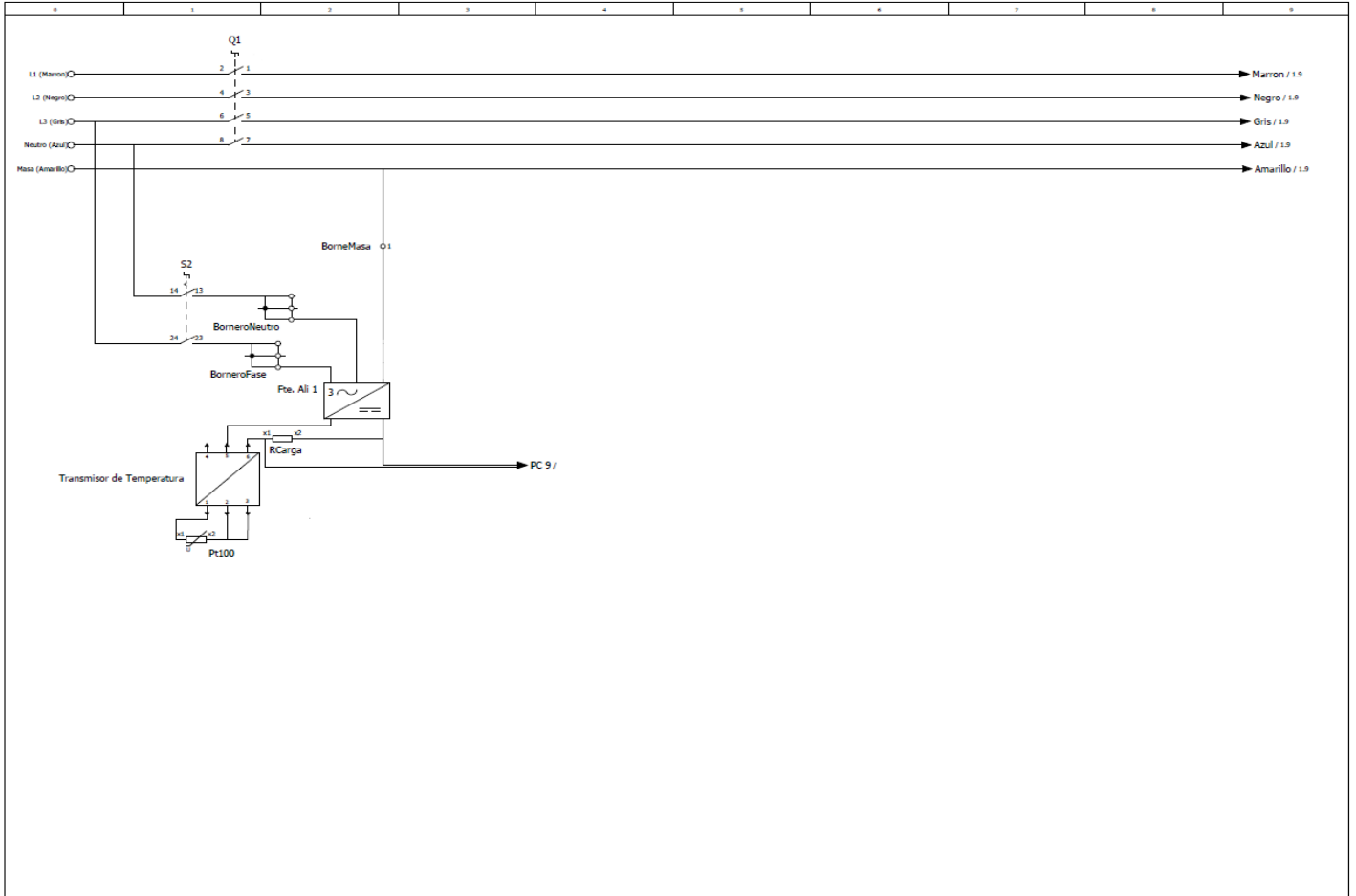


Ilustración 28. Cableado de Transmisor de  $T^a$  y Pt100



#### 6.3.4 Sensor de Presión

El sensor de presión HD 9408T BARO es un barómetro electrónico con salida analógica basados en un sensor piezoresistivo que entrega una medida extremadamente precisa y estable de la presión atmosférica, con excelente repetitividad, baja histéresis y buen comportamiento frente a la temperatura. Destacar que los transmisores son frecuentemente testados y calibrados en fábrica de manera previa y disponen de un potenciómetro de ajuste del offset, para instalación en altura, además, la señal de salida del sensor está condicionada para proveer un voltaje o corriente de salida linealmente proporcional a la presión atmosférica.

El HD 9408T BARO requiere de una alimentación de voltaje continuo de unos 24VDC, la cual suministraremos mediante las fuentes de alimentación instaladas en el cuadro y su consumo no es demasiado alto, alrededor de 4 mA, lo que lo hace apropiado para sistemas de adquisición portátil. Este modelo de sensor está situado en un robusto envase de Polipropileno con grado de protección IP67.

Para su correcta puesta en marcha, es necesario seguir los siguientes pasos que procederemos a detallar a continuación:

- Realizar conexiones de alimentación.
- Realizar conexiones para la salida del relé, que es un contacto de libre tensión.
- Seleccionar el tipo de salida deseada, mencionar que podemos elegir entre 4 tipos diferentes; 0-20mA, 4-20mA, 0-1V y 0-5V.
- Seleccionar el umbral de calibración comprendido entre 800 y 1000 mbar, por medio de la tecla PUSH y seleccionando el valor mediante la tecla SET.
- Configurar mediante la tecla de histéresis un valor entre 5 y 50mbar.



Ilustración 29. Barómetro HD 9408T BARO

De cara a su instalación y conexionado de nuestro sensor de presión HD 9408T a dos hilos con salida en 4-20mA, destacar que, en este caso en concreto, necesitaríamos de alimentación externa entre 8 – 35V al igual que el resto de los modelos de este fabricante. Así como la conexión existente desde el propio sensor hasta el “Data Logger”.

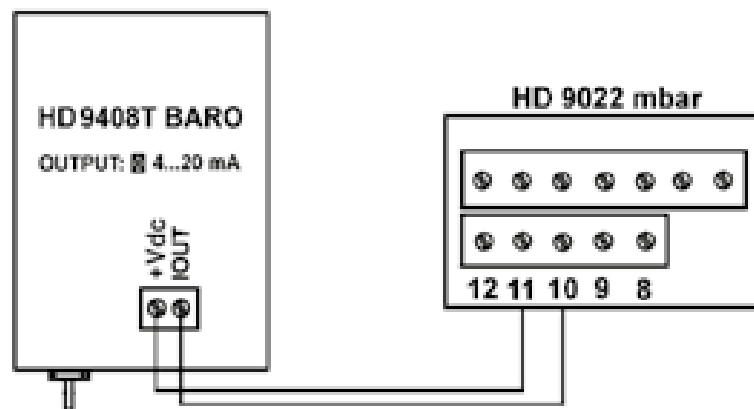


Ilustración 30. Conexionado de Presóstato

Entre las principales especificaciones de nuestro transmisor de presión HD 9408T BARO del fabricante Delta OHM, que consideramos relevantes a la hora de obtener una operación deseada, y en las que necesitaríamos indagar para escoger con total seguridad el modelo óptimo para nuestra aplicación son:

<i>Parámetros</i>	<i>Valor</i>
<i>Tipo de Sensor</i>	Piezo-resistivo
<i>Rango de Medida</i>	800 – 1100 mbar
<i>Salida Analógica</i>	4 - 20 mA (Posibilidad en 0 - 1V, 0 - 5V y 0 - 20mA)
<i>Precisión</i>	± 0.5 mbar a 20°C
<i>Resolución</i>	Infinita
<i>Deriva en Tª</i>	< 1% F.S Cero < 1% F.S Span de -20°C a +60°C
<i>Tiempo de Respuesta</i>	< 200 ms
<i>Alimentación</i>	8 – 35 VDC
<i>Tª de Operación</i>	- 30°C a 60°C
<i>Sobrepresión</i>	2 bar – 30psi
<i>Corriente</i>	< 4 mA

## Curva característica de Sensor de Presión HD 9408T BARO

Una característica propia de este sensor de presión, que lo diferencia del resto de la instrumentación anteriormente detallada, es que no necesita ningún tipo de transmisor para adaptar la señal con la que se proceda a trabajar, si no que el propio barómetro ya cuenta con una salida dentro del rango de 4-20mA, lo que agiliza bastante la tarea de montaje y puesta en marcha.

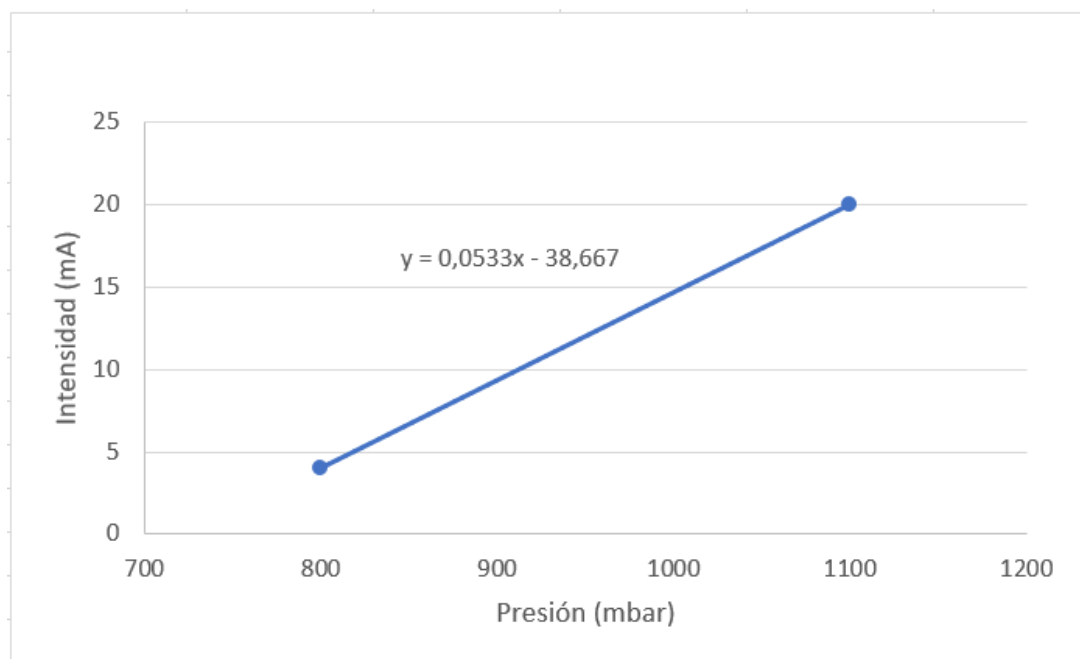
Ahora sí, al igual que el resto de los sensores electrónicos, este también cuenta con una ecuación fundamental característica, que tiene como objetivo despejar la presión barométrica en función de la señal de corriente obtenida:

$$P(\text{Mbar}) = 18.75 \left( \frac{\text{mbar}}{\text{mA}} \right) \cdot \left[ I_{\text{Lectura}}(\text{A}) \cdot \frac{1000 \text{ mA}}{1 \text{ A}} - 4 \right] + 800 (\text{mbar})$$

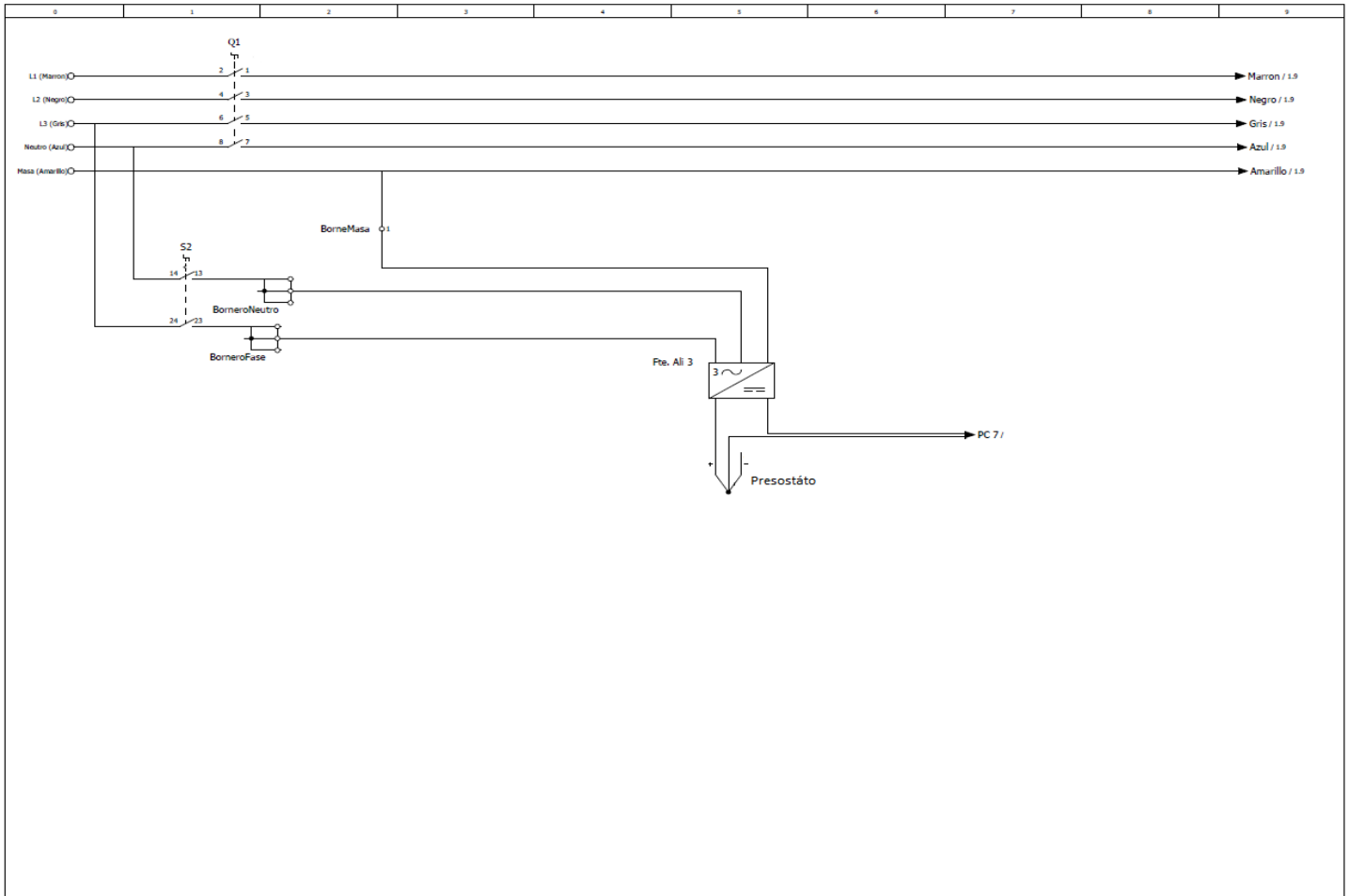
Donde:

18.75 = Constante a la Presión de referencia. Se obtiene dividiendo el Span de la entrada, entre el de salida, o lo que es lo mismo 300mbar / 16mA.

$I_{\text{Lect}}$  = Intensidad arrojada a la salida.



## Conexión de Sensor de Presión HD 9408T BARO



*Ilustración 31. Cableado de Barómetro*

### 6.3.5 Sensor de Velocidad de Giro

Para la contabilización de las revoluciones producidas por el eje motriz de nuestro aerogenerador, hemos decidido emplear un sensor tipo “Hall” situado a ambos lados del eje, en la parte del eje fijo hemos ubicado el denominado sensor o lector tipo “PNP”, mientras que en la parte móvil o encargada de recibir el movimiento del aire hemos establecido un imán de acero al carbono.

El sensor inductivo trabaja bajo el principio de poder detectar todo material ferroso, en particular metales con el objetivo de contabilizar los pasos por delante del propio sensor del imán situado en el extremo del eje móvil, puesto que debido a la corriente que circula en el conductor se genera un campo magnético alrededor del hilo del devanado conmutando el dispositivo. Si el material se aleja del campo magnético, la amplitud del oscilador incrementa conmutándose a su estado normal.

En nuestro caso contamos con un sensor PNP captador de pulsos normalmente abierto BES M12MI – PSC40B – BV03 del fabricante Balluff, cuya frecuencia máxima de medida se establece en unos 300Hz, asegurando la detección del material ferroso imantado a 4 mm del sensor. Destacar que el captador posee un led que tendrá la función de encenderse cada vez que se realice una revolución y este dato haya sido enviado al convertidor de frecuencia.

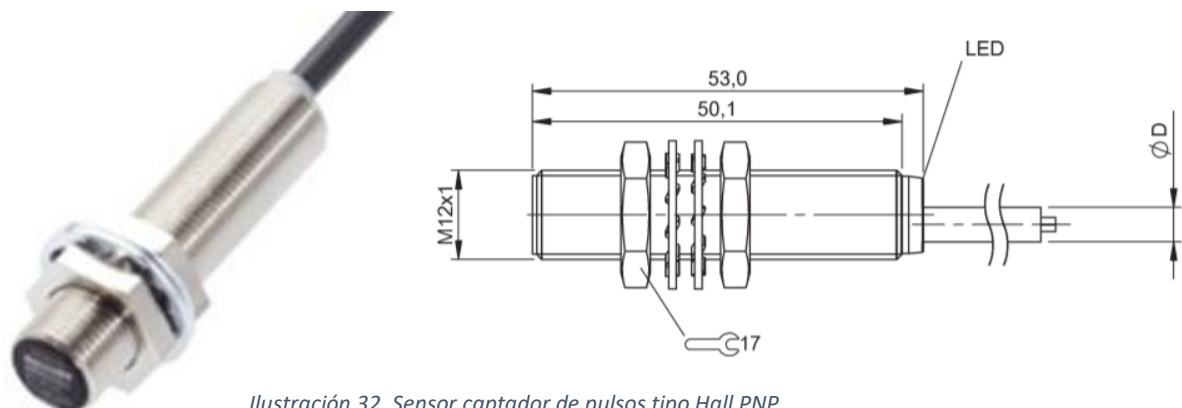


Ilustración 32. Sensor captador de pulsos tipo Hall PNP

Algunos de los conceptos que habría que tener claros para su correcta instalación y cableado, debe ser entre otros, que el captador de pulsos no tendría demasiado sentido sin un convertidor de frecuencia que pueda adaptar su señal a una salida medible por un “Data Logger” o cualquier otro sistemas de medición, que procederemos a detallar en posteriores apartados.

Respecto al propio sensor PNP, destacar que posee una conexión a 3 hilos, que iran directamente al convertidor de frecuencia, ya que esta se encarga tambien de alimentarlo y no necesita ir conectado deirectamente a la fuente de 24 VDC.

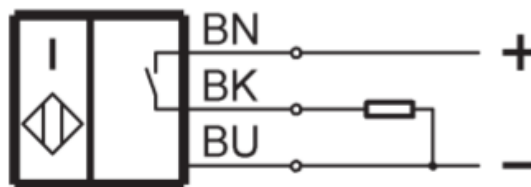


Ilustración 33. Conexionado del sensor captador de pulsos

Si ahora hacemos referencia a algunas de las características más significativas que definen el comportamiento y actuación de nuestro sensor de giro, de forma que nos podamos hacer una idea más clara de cara a su instalación y puesta en marcha destacaremos los siguientes puntos:

<i>Parámetros</i>	<i>Valor</i>
<i>Resistencia del encapsulado</i>	IP68
<i>Tipo de Conexión</i>	Cableada
<i>Voltaje de Alimentación</i>	24VDC
<i>Tª de Operación</i>	- 25°C a 70°C
<i>Distancia de Seguridad</i>	3.2 mm
<i>Salida de Conmutación</i>	PNP
<i>Función de Conmutación</i>	Normalmente Abierto
<i>Frecuencia Máxima</i>	300Hz

### 6.3.6 Convertidor de Frecuencia TACO Flex

Debido al carácter excepcional de la medición de pulsos en frecuencias de giros y su imposibilidad de que esta sea una medida perceptible por cualquier sistema de medición, ya que estos solo tienen posibilidad de interpretar valores de intensidad o voltaje, es necesaria la adaptación de esta frecuencia de pulsos a un valor, en nuestro caso, de intensidad 4 – 20mA para que el “Data Logger” pueda leer la señal.

Hemos elegido un convertidor de frecuencia de gran precisión y estabilidad, que dispone de un filtro seleccionable estabilizador de señal para bajar frecuencias, como es nuestro caso debido al carácter de baja potencia generada por nuestro aerogenerador. En concreto, nos hemos decantado por un convertidor de frecuencia TACO Digi del fabricante DPF Sensors. Entre otras de sus características, destacar que tiene la versatilidad de transformar la frecuencia tanto a una señal de voltaje como de intensidad y admite opcionalmente tensión AC de red.

Dispone de doble alimentación, tanto en alterna AC entre 100V y 250V, y en continua DC entre 20 y 30VDC con amplios márgenes, la conexión de estos se realiza mediante bornas enchufables codificadas, que facilitan el rápido intercambio de módulos sin necesidad de volver a cablear. Está protegido cumpliendo normas EMC para aplicaciones industriales.

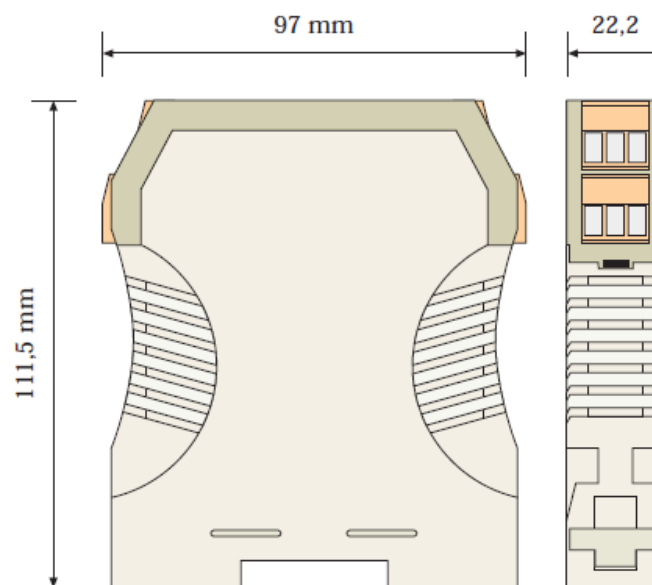


Ilustración 34. Convertidor de frecuencia. Vistas de perfil y alzado

De cara a su instalación y el conexionado de nuestro convertidor de frecuencia TACHO Digi a dos hilos con salida en 4-20mA, necesitaríamos realizar una gran cantidad de pasos para realizar un ajuste óptimo que se adapte a nuestro aerogenerador.

- Ajustar la tensión de entrada:



En nuestro caso, las fuentes de alimentación con las que contamos, aportan un voltaje de entrada de 24VDC, por lo que deberíamos mantener colocado el capuchón.

- Ajustar el rango de frecuencias:



Se prevee que nuestra frecuencia oscile en torno a los 16,66Hz, por lo que lo ajustaremos a bajas frecuencias.

- Ajustar el filtro de salida:



Debido a nuestra baja frecuencia, es conveniente aplicar el filtro existente en el interior del convertidor de frecuencia, por lo que activaremos el interruptor.

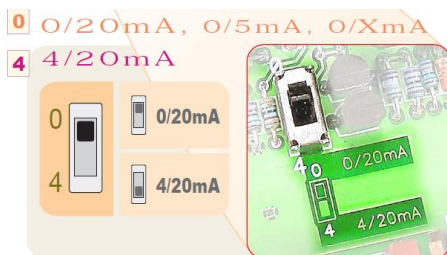


- Ajustar la selección del captador:



Como hemos definido anteriormente, el instrumento de medida seleccionado para dicha aplicación es un sensor de efecto hall PNP, por lo que activaremos la salida número 2.

- Selección de la salida:



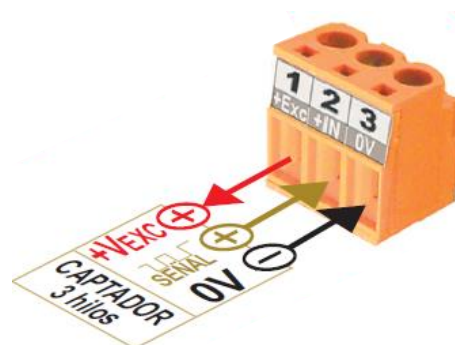
En este caso la salida deseada es de 4-20mA, por lo que situaremos el interruptor en 4.

Respecto al conexionado, el sensor de pulsos PNP se conectará a los terminales 1,2 y 3 de la siguiente forma:

Cable Marrón → Terminal 1

Cable Negro → Terminal 2

Cable Azul → Terminal 3



Para el caso de las conexiones tanto desde la fuente de alimentación hacia el convertidor de frecuencia, como de la salida del convertidor de frecuencia hacia el “Data Logger” se realizará teniendo en cuenta las siguientes instrucciones.

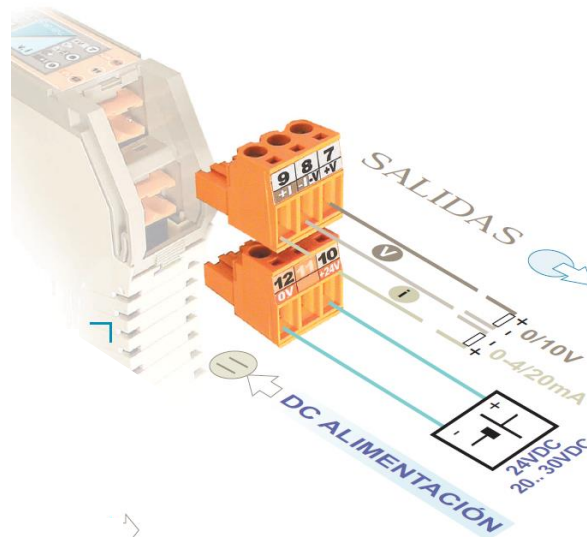


Ilustración 35. Conexión de convertidor de frecuencia

Entre las principales especificaciones propias del convertidor de frecuencia TACO Digi 4-20 mA del fabricante DPF Sensors, que son de considerada importancia para su correcto funcionamiento, instalación y por supuesto a la hora de su elección tenemos:

<i>Parámetros</i>	<i>Valor</i>
<i>Rango de Frecuencia</i>	20Hz – 60KHz
<i>Tipo de Salida</i>	4 - 20mA (Con posibilidad en 0 - 5V, 0 - 10V y 0 – 20mA)
<i>Tª de Operación</i>	- 10°C a 60°C
<i>Tiempo de Calentamiento</i>	5 minutos
<i>Máximo error global</i>	0.2%
<i>Error de linealidad</i>	0.15%
<i>Tiempo de respuesta</i>	1.2 seg
<i>Tensión de Alimentación</i>	Alterna: 100 – 250VAC Continua: 20 – 30VDC
<i>Consumo Máximo</i>	1.8W
<i>Sensibilidad</i>	20mV

### Curva característica Convertidor de Frecuencia TACO Digi

Hay que destacar de la curva de calibración de nuestro convertidor de frecuencia TACO Digi que trabaja con un intervalo de salida asignado de 4 0 20mA, aunque como ya hemos estudiado, se puede variar a otras escalas y unidades.

Al igual que en el caso de los anemómetros de hilo caliente este convertidor de frecuencia se calibrará con respecto a dos puntos: la sensibilidad (Pendiente) y el cero (Offset).

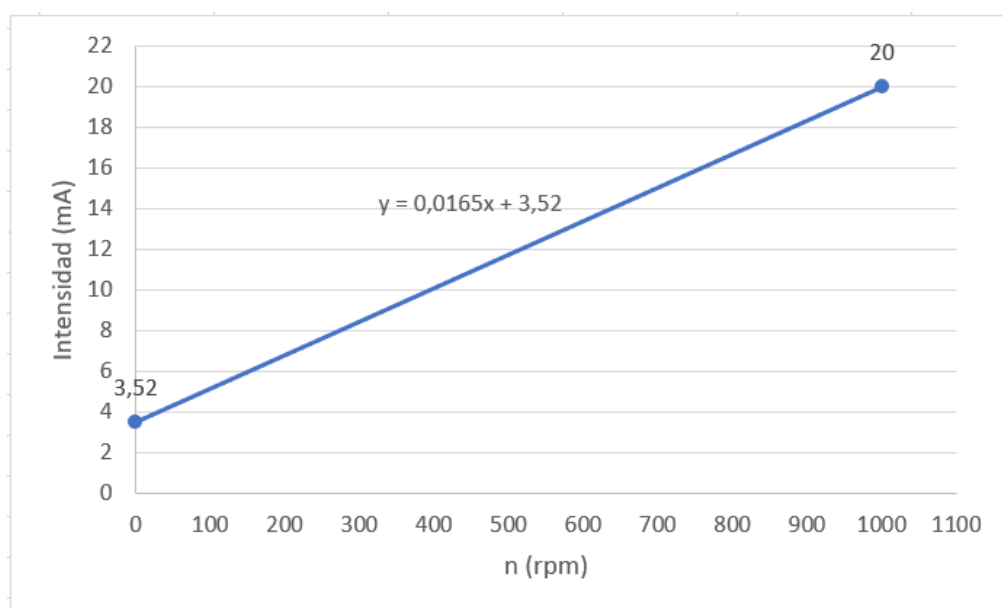
Para corroborar la curva obtenida, proponemos el manejo de la siguiente ecuación fundamental propia de nuestro convertidor:

$$n(\text{rpm}) = \left( \frac{(I_{\text{Lectura}} - I_{\text{Calibración}}) \text{ mA}}{\frac{(20 - I_{\text{Calibración}}) \text{ mA}}{1000 \text{ rpm}}} \right)$$

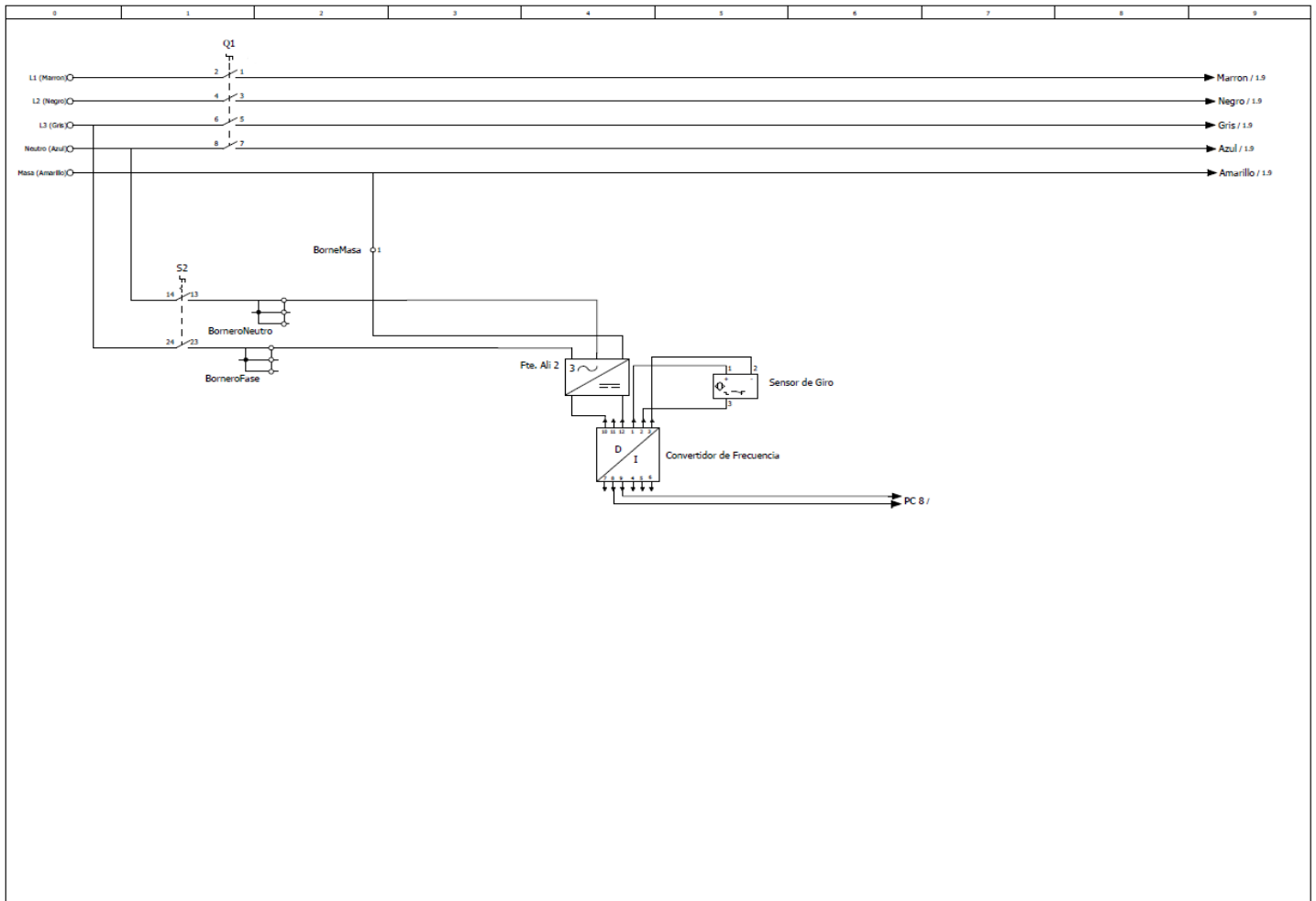
Donde:

$$I_{\text{Calibración}} = 3.52 \text{ mA}$$

$I_{\text{Lect}}$  = Intensidad arrojada a la salida.



## Conexión Convertidor de Frecuencia TACO Digi y Captador de Pulsos



*Ilustración 36. Cableado de Tacómetro y convertidor de frecuencia*

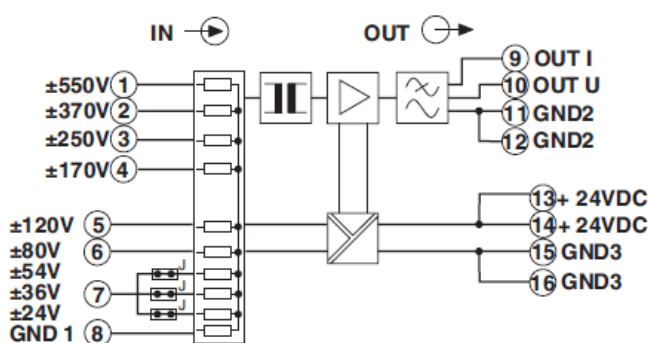
### 6.3.7 Transductor de Tensión

En primer lugar procederemos a realizar una breve definición sobre los transductores de tensión en general; estos transductores de tensión se emplean frecuentemente para convertir tensiones en señales utilizables en el control de procesos, mientras que a su vez también pueden utilizarse para crear una señal normalizada de 0 - 10 V.

Algunos de estos casos de medición de tensión que atraviesa una línea para convertirla en la señal de control necesaria pueden ser cuando hay que, por ejemplo, conectar un nuevo sensor a un campo de regulación que ya existe, o en casos en los que convierten una tensión alterna producida por un generador, en una señal normalizada, la cual es luego protocolizada por un sistema de visualización.

Su principio se basa en la medición de tensión en paralelo de una línea y la convierten en una señal normalizada y su instalación es muy sencilla, basada en terminales destinados a su alimentación, medida de tensión o entrada, y la salida con dirección al “Data Logger”.

Si nos involucramos un poco más en nuestro transductor de tensión en particular, contamos con MCR – VDC – UI – B – C del fabricante “Phoenix Contact” capaz de medir voltajes en DC a diferentes rangos desde 0 – 20 VDC o desde 0 – 660 VDC convirtiéndolas en señales analógicas estandarizadas. Estos voltajes se procesarán en polaridad negativa.



- 1 Supply voltage
- 2 Output
- 3 Potentiometer for adjustment
- 4 Inputs
- 5 Upper part of the housing can be removed to set the jumpers
- 6 Universal snap-on foot for EN DIN rails

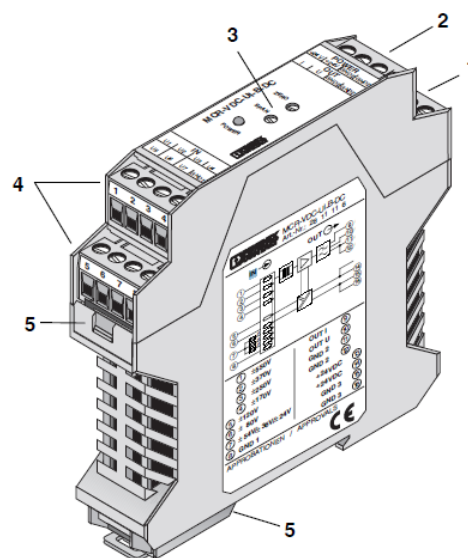


Ilustración 37. Transductor de tensión. Vista en perspectiva

Respecto a la su instalación eléctrica, a continuación, se adjunta un esquema para su conexión, donde los terminales 13 y 15 son los destinados a la conexión de entrada en 24VDC proveniente de las fuentes de alimentación. Para la conexión de carga de la medición en los bornes de las baterías que nos indicarán la tensión en continua que nos generará nuestro aerogenerador se llevará a cabo en los terminales 7 y 8 del transductor de tensión, siempre sin olvidarnos de la conexión con el “Data Logger” situada en los terminales 10 y 11. Hay que tener en cuenta que para la entrada de tensión proveniente de los bornes de las baterías, es necesario situar el jumper en la posición J3, conectando así la opción de 24V.

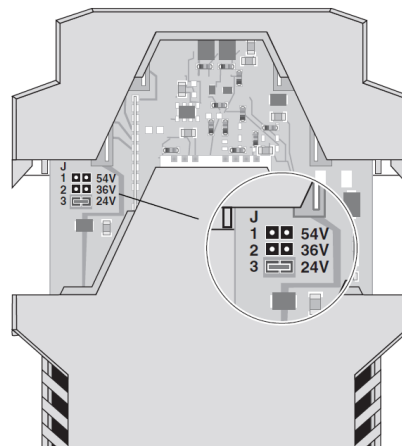


Ilustración 38. Jumpers internos de un transductor de tensión

Entre las características más relevantes que definen la conducta de nuestro transductor de tensión, para que así nos resulte más fácil llevar a cabo todo el montaje en el banco de ensayos tendríamos:

<i>Parámetros</i>	<i>Valor</i>
<i>Voltaje de salida</i>	-10V – 10V
<i>Máximo Voltaje de Salida</i>	± 15V
<i>Rizado</i>	< 50 mVpp
<i>Corriente de Salida</i>	-20mA – 20mA
<i>Voltaje de Alimentación</i>	18.5V – 30.2V
<i>Consumo</i>	< 50mA
<i>Frecuencia Límite</i>	40Hz
<i>Máximo Error de Transmisión</i>	< 1%
<i>Tiempo de Respuesta</i>	12ms
<i>Grado de Protección</i>	IP20
<i>Temperatura de Operación</i>	-25°C – 50°C

## Curva característica Transductor de Tensión

Una característica propia de este transductor de tensión, al igual que el sensor de presión, es que no necesita ningún tipo de transmisor para adaptar la señal con la que se proceda a trabajar, si no que el propio transductor arroja una señal cuadrada dentro del rango de 0 – 10V, por lo que su instalación es bastante sencilla a priori.

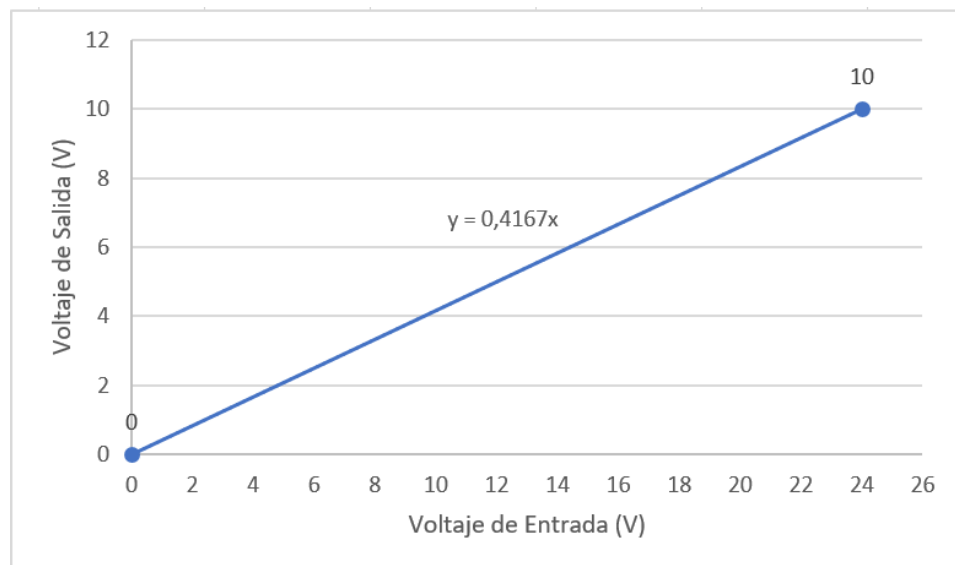
Aunque, al igual que el resto de los sensores electrónicos que hemos detallado anteriormente este también cuenta con una ecuación fundamental característica, esta se basa en simplemente multiplicar la tensión leída por el “*Data Logger*” dentro del rango 0 – 10V por 2.4, para hallar la tensión real que llegan a los bornes de las baterías.

$$V(V_{DC}) = 2.4 \cdot V_{Lectura} (V_{DC})$$

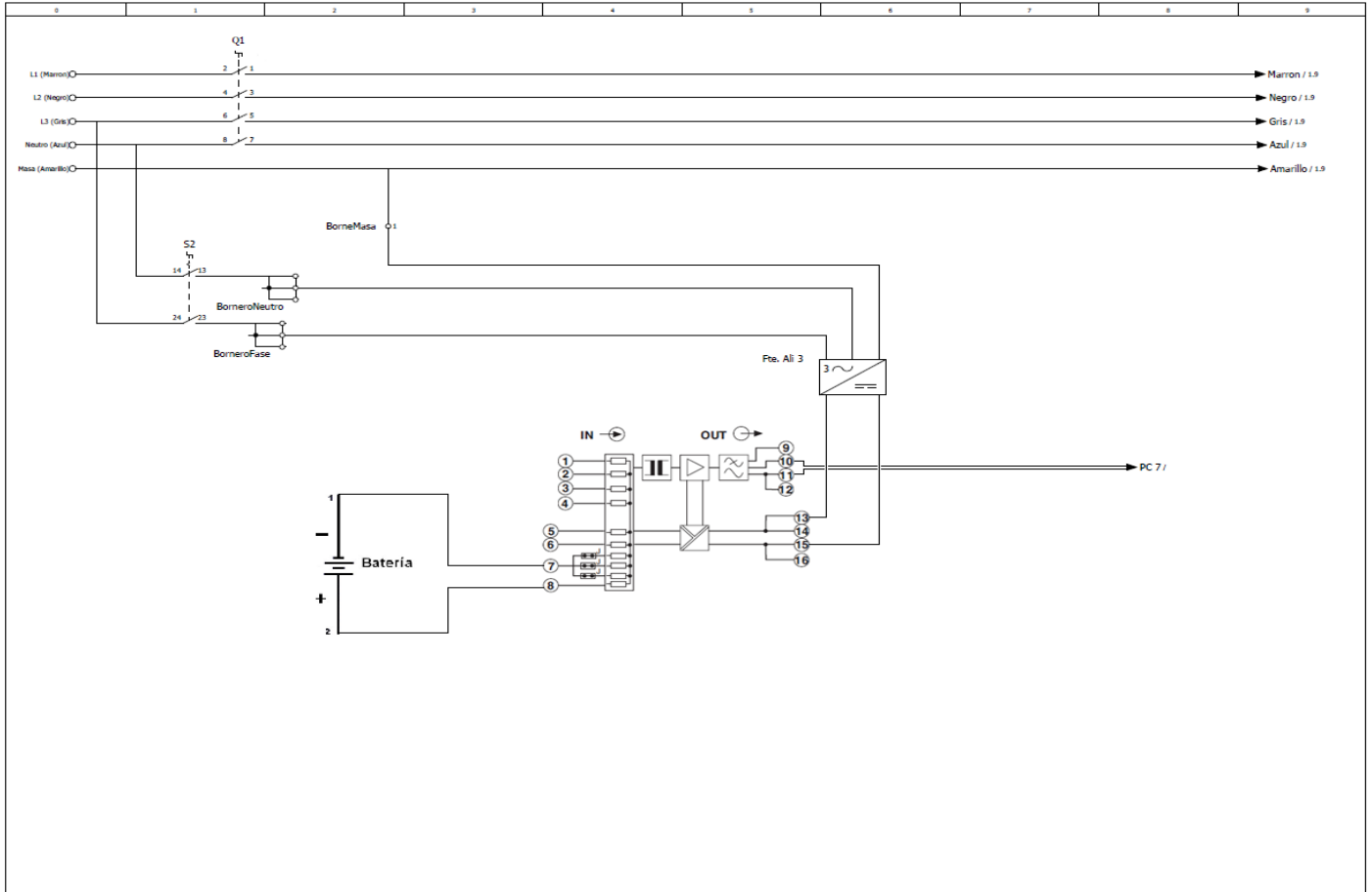
Donde:

2.4 = Constante a la Presión de referencia. Se obtiene dividiendo el Span de la entrada, entre el de salida, o lo que es lo mismo 24VDC / 10VDC.

$V_{Lect}$  = Voltaje arrojada a la salida.



## Conexión de Transductor de Voltaje DC



*Ilustración 39. Cableado del transductor de tensión y medición en baterías*



### 6.3.8 Transductor de Intensidad

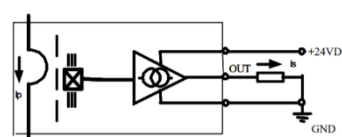
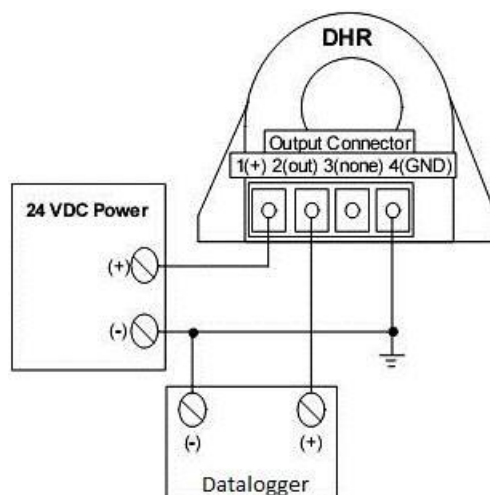
Al igual que los transductores anteriormente mencionados, los transductores de intensidad normalmente se utilizan en aplicaciones donde tengan lugar corrientes inductivas elevadas, y estas tengan que ser medidas en los sistemas de regulación y control.

La cometido de los transductores de corriente es la de transformar corrientes entre 1 A o 5 A en por ejemplo 4 ... 20 mA o 0 ... 10 V, como es el nuestro en cuestión y la corriente creada por el aerogenerador cuando este esté en movimiento. Entre otras aplicaciones características de estos componentes se encuentra la de transformar corrientes de proceso en otras señales normalizadas.

Junto a las dos funciones presentadas, los transductores también se emplean como transductores aislados, que sería nuestro caso, lo que significa que la señal de entrada y de salida asciende respectivamente a 4...20 mA, y que estos están separados galvánicamente, en cualquiera de los supuestos, destacar, que con frecuencia los transductores de corrientes se montan con frecuencia en combinación con convertidores de corriente en la tecnología energética. Esto se debe, a que la señal emitida por los transductores puede ser valorada por un sistema de visualización o un analizador de red, aportando así una gran seguridad.



Ilustración 40. Transductor de intensidad DHR-C420



Tal y como podemos apreciar en las imágenes anteriores, distinguimos como el transductor que poseemos para nuestro banco de ensayos es el modelo DHR-C420 del fabricante LEM, y que según los esquemas eléctricos aportados cuenta con 4 pines entradas/salidas, donde solo 3 de esas 4 serán requeridas para su funcionamiento.

En primer lugar, el pin número 1 o (+), el cuál destinaremos a la alimentación del transductor irá conectado directamente a la salida positiva V+ de nuestra fuente de alimentación de 24V DC, mientras que el pin número 2 o (OUT), encargado de aportar la señal de lectura del sensor en forma de 4-20 mA quedará reservado para la conexión con la tarjeta multiplexora del “Data Logger”. Como ya hemos adelantado anteriormente, uno de los pines, en este caso el pin número 3, permanecerá desconectado, y por último el pin número 4 o (GND) se encontrará conectado en paralelo tanto con el pin restante de la tarjeta multiplexora, como con la salida negativa V- de la fuente de alimentación.

Entre las características más relevantes que definen la conducta de nuestro transductor de intensidad, para que así nos resulte más fácil llevar a cabo todo el montaje en el banco de ensayos tendríamos:

<i>Parámetros</i>	<i>Valor</i>
<i>Rango de Medida</i>	0 – 100 A
<i>Corriente de Salida</i>	4 – 20 mA
<i>Voltaje de Alimentación</i>	+20V - 50V DC
<i>Consumo</i>	30mA + Iout
<i>Frecuencia Límite</i>	20 – 6000 Hz
<i>Máximo Error de Transmisión</i>	±1%
<i>Tiempo de Respuesta</i>	< 150 ms
<i>Grado de Protección</i>	IP20
<i>Temperatura de Operación</i>	-40°C – 70°C
<i>Resistencia de Carga</i>	< 300

## Curva característica Transductor de Intensidad

Los transductores de intensidad no necesitan ningún tercer transductor/transformador para adaptar la señal recogida por el mismo, siendo esta apta para que se proceda a trabajar con ella, ya el propio transductor arroja una señal encasillada dentro del rango de unos valores leíbles por nuestro “Data Logger” como es la señal 4 – 20 mA, facilitando pues la tarea de instalación y cableado

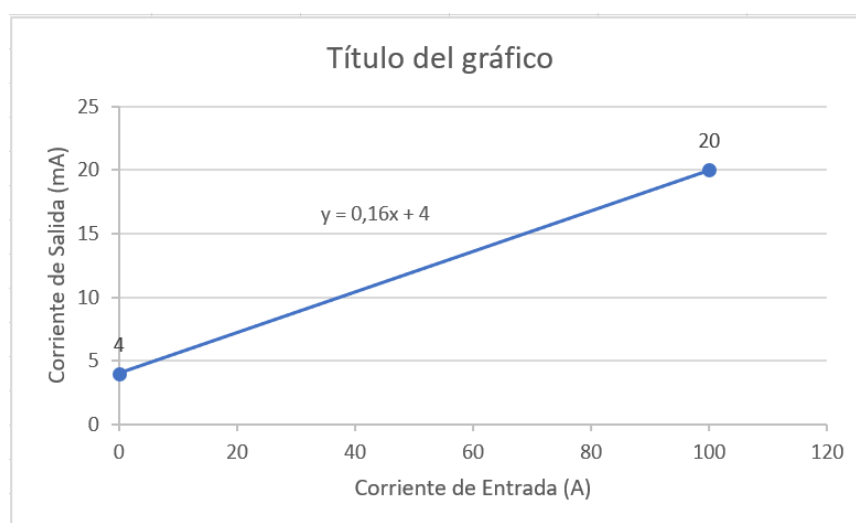
Siguiendo la misma línea realizada con la instrumentación y sensores anteriormente descrita, procederemos a obtener su ecuación fundamental característica, capaz de reflejar el comportamiento del transductor, esta se basa en simplemente multiplicar la corriente leída por el “Data Logger” dentro del rango 0 – 100A que podemos encontrar reflejado en su datasheet. Se propone la siguiente ecuación fundamental.

$$I_{rms}(A) = \frac{1}{3} \cdot \left( \frac{I_{lectura}(A) \cdot 0.004 (A)}{0.00016} \right)$$

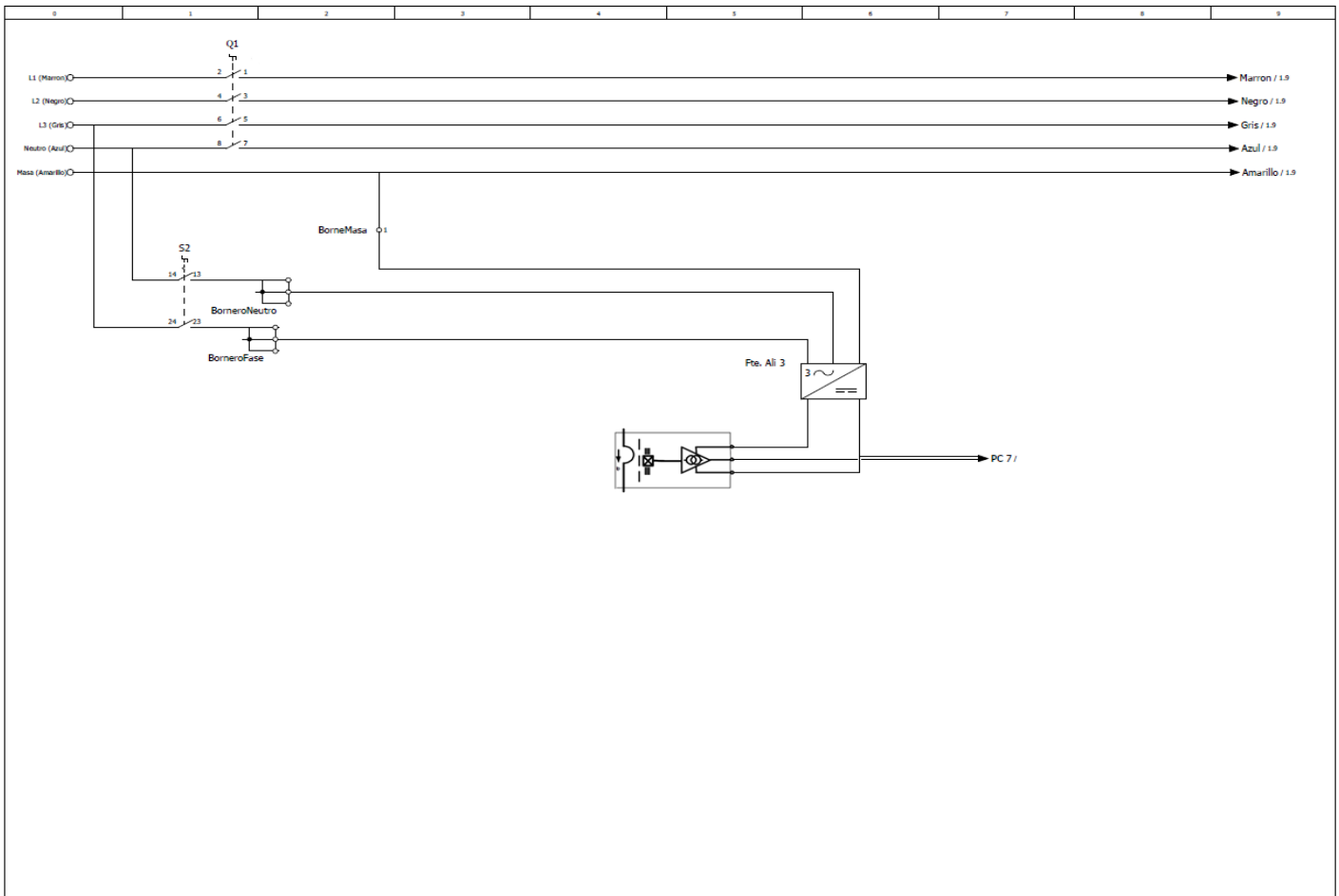
Donde:

$I_{rms}$  = Intensidad arrojada a la salida.

$I_{lectura}$  = Intensidad leída a la entrada de la batería.



## Conexión de Transductor de Intensidad



*Ilustración 41. Cableado Transductor de intensidad*

### 6.3.9 Tarjeta de Alimentación

La principal función de una fuente de alimentación se basa en la capacidad de proporcionar un valor de tensión correcto y constante para posibilitar el funcionamiento de cualquier dispositivo. Su cometido se fundamenta en la conversión de una tensión alterna de entrada procedente de la red a una tensión continua, para ello se realizan en su interior 4 etapas o pasos que permiten dicha conversión:

- Transformación
- Rectificación
- Filtrado
- Regulación

#### Transformación

Es la primera etapa de las 3, consta básicamente de un transformador formado por un bobinado primario y uno o varios bobinados secundarios cuya función principal radica en la conversión de la tensión alterna en energía alterna, pero a otro nivel de voltaje. Esto sucede gracias a la acción de un campo magnético.

#### Rectificación

Esta segunda etapa consta de una serie de diodos rectificadores con su característica función de rectificar la señal procedente de la etapa de transformación, más en concretamente del bobinado secundario. Existen dos tipos de configuraciones, medio onda y onda completa.

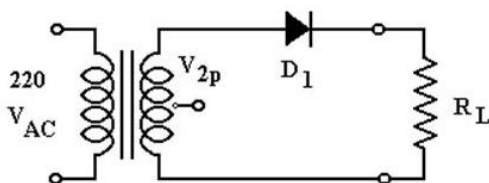


Ilustración 42. Rectificador de Media onda

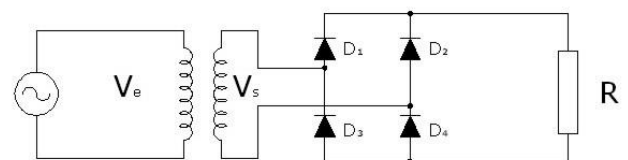
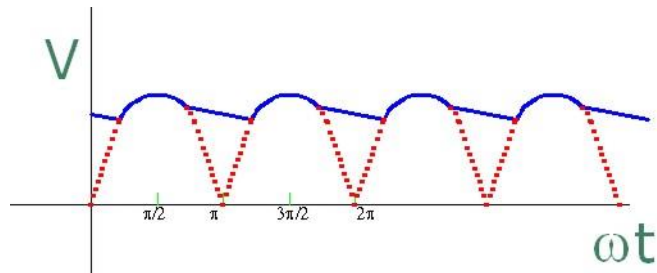


Ilustración 43. Rectificador de onda completa

### Filtrado

Constituida por varios capacitores encargados de eliminar la componente de tensión alterna procedente de la etapa anterior. Estos capacitores se cargan a su valor máximo de voltaje, para luego descargarse lentamente cuando la señal decrece permitiendo lograr un nivel de tensión continua.



### Regulación

Consiste en el uso de varios circuitos integrados que tienen la función de mantener constante las características del sistema y además mantienen el estado de la salida independiente de la entrada. Existen dos tipos de reguladores, los lineales y los de conmutación.

A continuación, podemos visualizar las etapas comentadas que tienen lugar en el interior de nuestra fuente de alimentación modelo DRA 18-24 722752, así como la asignación de los respectivos pines con los que cuenta.

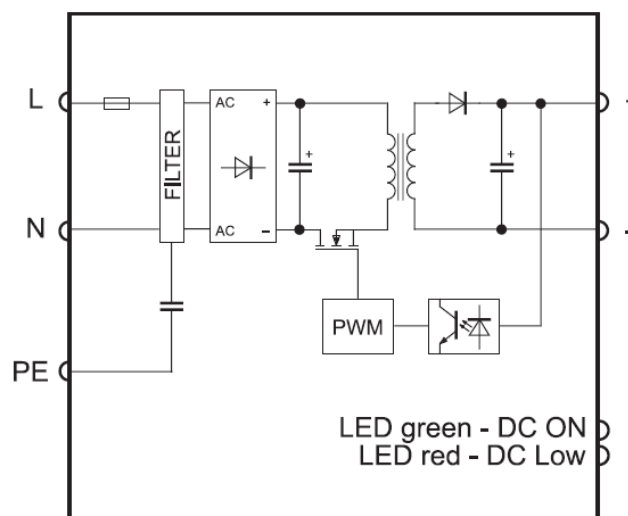


Ilustración 44. Cableado interno Tarjeta de Alimentación

Entre las características propias y más significativas de la fuente de alimentación con la cual vamos a proceder a instalar en nuestro banco de ensayos se encuentran:

<i>Parámetros</i>	<i>Valor</i>
<i>Voltaje Nominal</i>	100 – 240 V
<i>Rango de operación de voltaje</i>	90-265 V AC / 120 – 370 V DC
<i>Frecuencial lineal</i>	47 – 63 Hz
<i>Fusible Interior</i>	T2 A
<i>Voltaje de salida</i>	24 V DC
<i>Intensidad de salida</i>	0.75 A
<i>Error</i>	±1%
<i>Protección</i>	IP 20
<i>Coefficiente de T<sup>a</sup></i>	± 0.03 % / °C
<i>T<sup>a</sup> de Operación</i>	-20 / 70 °C



Ilustración 45. Tarjeta de Alimentación DRA 18-24 en perspectiva

## 6.4 Sistema de Adquisición de Datos

La adquisición de datos o adquisición de señales consiste en la toma de muestras analógicas para generar datos que tengan la posibilidad ser manipulados e interpretados por un ordenador u otros dispositivos electrónicos. Consiste en tomar un conjunto de señales físicas, convertirlas en tensiones eléctricas y digitalizarlas de manera que se puedan ser procesadas. Se requiere una etapa de acondicionamiento, que adecua la señal a niveles compatibles con el elemento que hace la transformación a señal digital. El elemento que hace dicha transformación es el módulo de digitalización o tarjeta de adquisición de datos (DAQ), y que en nuestro caso recaerá bajo el denominado “*Data Logger*” y su determinada tarjeta multiplexora.

La adquisición de datos se inicia con el fenómeno o la propiedad física de un objeto que se desea medir. Esta podría ser el cambio de temperatura o la temperatura de una habitación, la intensidad o intensidad del cambio de una fuente de luz, la presión dentro de una cámara, la fuerza aplicada a un objeto, o muchas otras cosas.

### 6.4.1 Data Logger

En nuestro banco de ensayos, como hemos indicado anteriormente, tenemos la suerte de contar con un sistema de adquisición centralizado, capaz de recoger todas las señales proporcionadas por los sensores e instrumentación instalada. Este sistema centralizado radica en un DAQ o “*Data Logger*”, que es un dispositivo electrónico capaz de registrar datos en tiempo real basado en microcontroladores, además poseen memoria interna para almacenamiento de los datos aportados por los sensores.

Uno de los principales beneficios del uso de registradores de datos es la capacidad para recopilar automáticamente datos las 24 horas del día. Tras la activación, los registradores de datos normalmente se dejan sin vigilancia para medir y registrar la información durante toda la duración del período de seguimiento, lo que permite una visión global y precisa de las condiciones ambientales objeto de seguimiento.



El registrador concreto que estamos utilizando para esta aplicación, es un registrador fabricado por la compañía *Agilent Technologies*, siendo este su modelo 34980A. Respecto al Software bajo el cual es comandado el “*Data Logger*” nos encontramos con el programa Benchlink. La única desventaja de este registrador es la incompatibilidad para poder registrar y comandar los variadores de frecuencia encargados de la regulación de motores asíncronos, por lo que dicho control se hará de forma independiente.



Ilustración 46. Registrado de datos Data Logger 3498A

Hemos elegido en parte también este determinado registrador de datos, ya que es idóneo para aplicaciones que requieran de una alta frecuencia de muestreo en un tiempo reducido, ya que estamos registrando valores a tiempo real en función de los valores de frecuencia otorgados en cada instante a los variadores que comandan los motores encargados de generar las corrientes de aire dentro del banco de ensayos. Esto función característica es posible gracias funcionamiento interno del “*Data Logger*” basado en la conmutación de relés.

Algunas de las particularidades de nuestro registrador, es la disponibilidad de un panel frontal con teclado que facilita bastante la tarea de configuración y visualización de datos, aunque no será de vital importancia ya que realizaremos estas funciones gracias a la aplicación diseñada en LabVIEW.

### 6.4.2 Tarjeta Multiplexora

Puesto que el “*Data Logger*” no tiene la capacidad de interpretar directamente las señales eléctricas provenientes de la instrumentación, sensores y actuadores, será de obligada necesidad la incorporación de una tarjeta multiplexora encargada de recopilar y agrupar todas estas señales recibidas y enviarlos a través de un BUS de comunicación al registrador.

Haciendo un poco más de hincapié en la tarjeta multiplexora en sí, hay que remarcar que esta se trata de una solución elaborada por el mismo fabricante que el registrador de datos, o sea, *Agilent Technologies*, en especial el modelo 34921A. Este modelo posee 40 canales de 2 hilos cada uno, divididos en dos bancos de 20 canales cada uno, todos ellos diseñados para el registro de valores de tensión provenientes de la instrumentación, aunque además existen otros 41 canales con relés adicionales que posibilitan la lectura de señales de intensidad. Se suministran por tanto un total de 44 canales dentro de la tarjeta multiplexora.

Para nuestra aplicación, tan solo ocuparemos 8 de los 44 canales de registros, divididos en 5 de tensión y 3 de intensidad.

Este modelo de tarjeta es capaz de registrar hasta 100 canales por segundo según se indica en su “*Data Sheet*” correspondiente, por lo que hallar el tiempo mínimo de muestreo es tan simple como:

$$T_{\min} = \left( \frac{100 \frac{\text{canales}}{\text{seg}}}{8 \text{ canales}} \right)^{-1} = 0.08 \text{ s} = 80 \text{ ms}$$

Y por lo tanto la frecuencia queda de la siguiente forma:

$$f_{\max} = \frac{1}{T_{\min}} = 12.5 \text{ Hz}$$

Para poder tener un conocimiento más profundo de las conexiones realizadas desde la tarjeta multiplexora, se adjunta una tabla donde podemos encontrar indicados los puertos que hemos empleado, los sensores conectados a dichos puertos y la escala de medida o salida de la tarjeta multiplexora:

<i>Instrumento</i>	<i>Parámetro</i>	<i>Puerto</i>	<i>Valor</i>
<i>Anemómetro EE671</i>	Velocidad del viento creada por los ventiladores	1001, 1005, 1022, 1025,	[0 – 10V]
<i>Pt100 junto a transductor TxRail</i>	Temperatura ambiente	1043	[4 – 20mA]
<i>Barómetro HD 9408T BARO</i>	Presión absoluta ambiente	1044	[4 – 20mA]
<i>Captador de Pulsos BES M12M1 junto a convertidor de frecuencia TACO Digi</i>	Revoluciones del aerogenerador	1042	[4 – 20mA]
<i>Transductor de Intensidad toroidal de efecto Hall</i>	Intensidad generada por el aerogenerador	1041	[4 – 20mA]
<i>Transductor de Tensión MCR-VDC-UI-B-C</i>	Tensión generada por el aerogenerador	1036	[0 – 10V]

## 6.5 Aerogenerador

Como hemos procedido a anticipar en la introducción de esta memoria, el aerogenerador que hemos emplazado en nuestro laboratorio situado en las instalaciones del ELDI es de tipo horizontal. El fabricante de este tipo de aerogeneradores es *Southwest Windpower*, en concreto, nos encontramos antes el modelo *Whisper 200*, capaz de producir hasta 1 KW en su máximo punto de funcionamiento.

Para que sea posible el almacenamiento de la potencia generada por el aerogenerador es estrictamente necesario situar un regulador de carga. Este regulador de carga se encontrará entre el aerogenerador y las baterías.

A continuación, se adjuntan las principales características correspondientes al aerogenerador presente en el laboratorio, según el fabricante:

<i>Parámetro</i>	<i>Valor</i>
<i>Potencia Nominal</i>	1000 W
<i>Voltaje</i>	12V/24V/48V
<i>Eje de rotación</i>	Horizontal
<i>Número de Palas</i>	3
<i>Material de las palas</i>	Polipropileno / carbono reforzado
<i>Diámetro del rotor (m)</i>	2.72
<i>Velocidad del viento nominal (m/s)</i>	11.6 - 13
<i>Inicio/corte de velocidad del viento (m/s)</i>	3.1
<i>Recortar la velocidad del viento (m/s)</i>	16-18
<i>Velocidad del viento de supervivencia (m/s)</i>	55
<i>Área Barrida m<sup>2</sup></i>	5.8
<i>Velocidad de Rotación</i>	1200

Para que nuestro aerogenerador se adecue al resto de componentes de nuestro banco de ensayos, como pueden ser el regulador de carga o las baterías, será necesario modificar el valor del voltaje establecido de forma estándar por el fabricante de 24V a 12V.

La modificación de dicho valor se realizará mediante la variación de conexiones de los diferentes terminales que nuestro aerogenerador posee en el interior de la góndola. Destacar que una vez realizada la apertura de la chapa situada en la parte derecha de la góndola, nos vamos a encontrar diversos cables divididos en dos grupos:

- 3x Cables de color negro correspondientes al W1, W2 y W3 de la salida del aerogenerador.
- 12x Cables de color blanco correspondientes a la salida del estator. A su vez, este grupo de cables se puede dividir en 3 subgrupos en función del color de sus etiquetados.
  - Etiquetado rojo: Numerado del 1 al 4.
  - Etiquetado Amarillo/blanco: Numerado del 1 al 4.
  - Etiquetado negro: Numerado del 1 al 4.

Las combinaciones de uniones entre estos grupos de cables, propiciará la conexión a un voltaje u otro.



*Ilustración 47. Pasos a seguir para modificación del voltaje nominal*

<b>12 V</b>	<b>Red Wire Nuts</b>		
	Brush Wire	Brush Wire	Brush Wire
	White 1	White –	Red 1
	White 3	White 2	Red 3
	Black 2	Red 2	Black 1
	Black –	Red –	Black 3

<b>24* V</b>	<b>Red Wire Nuts</b>			<b>Yellow Wire Nuts</b>	
	Brush Wire	Brush Wire	Brush Wire	White –	White 2
	White 1	Red 2	Black 1	Red 3	Red 1
	White 3	Red –	Black 3	Black –	Black 2

<b>48* V</b>	<b>Red Wire Nuts</b>			<b>Yellow Wire Nuts</b>			
	Brush Wire	Brush Wire	Brush Wire	White –	White 2	Red 2	Black 2
	White 1	Red –	Black 1	Red 1 Black –	White 3	Red 3	Black 3

Mientras que la curva de potencia aproximada aportada por el fabricante arroja el siguiente comportamiento en función de la velocidad del viento incidente.

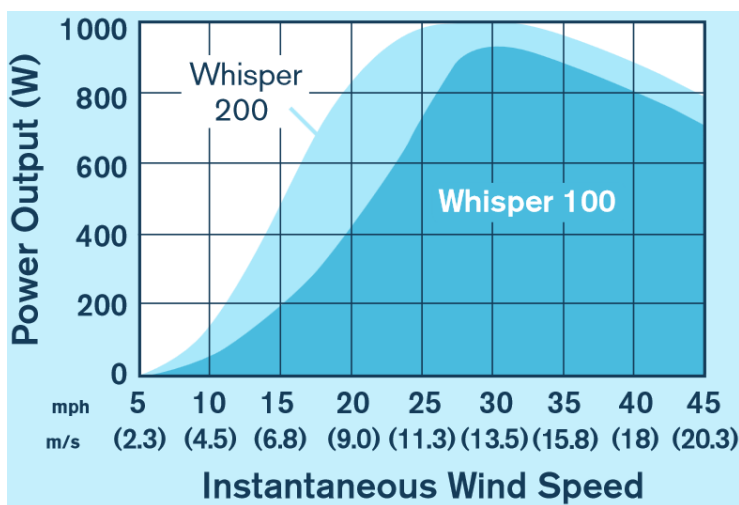


Ilustración 48. Curva de potencia aerogenerador Whisper 200



Ilustración 49. Aerogenerador Whisper 200 vista en perspectiva

### 6.5.1 Regulador de Carga

Un regulador de carga eólico se coloca como ya hemos indicado, entre el aerogenerador y el campo de baterías, y sencillamente se encarga de regular y controlar el flujo de energía que circula entre ambos equipos.

Este control del flujo de energía se lleva a cabo por medio de la parametrización de las magnitudes de Intensidad (I) y Voltaje (V) que llegan a la batería, todo esto viene influenciado por el estado de carga de las baterías, así como de la energía generada por el campo fotovoltaico. Todo esto tiene su repercusión en un correcto y óptimo almacenado de la carga en las baterías, y como consecuencia su prolongación en términos de vida útil.

Hay que destacar que existen 3 estados posible por los que debe pasar la etapa de carga:

- **Fase de BULK:** Fase en la que la batería se encuentra descargada, y por lo tanto toda la corriente producida por el aerogenerador procede a ser inyectada en las baterías, incrementando de esta forma la tensión en la batería a medida que esta se va llenando.
- **Fase de ABSORCIÓN:** Fase que tiene lugar cuando la tensión de la batería alcanza la tensión de absorción (en las baterías de plomo-ácido abiertas es de 14.4V, mientras que en las baterías AGM y GEL es de 14.1V), momento en el cual el regulador de carga mantiene la tensión ligeramente por debajo de dichos valores, reduciendo la corriente hasta que la batería esté prácticamente llena.
- **Fase de FLOTACIÓN:** Fase donde la tensión se ve reducida hasta la tensión de flotación, que suele oscilar generalmente entre 13.5V, y donde la corriente se reduce hasta que la batería se llena por completo. Toda esta energía que se genere, y que se encuentre por encima de la energía que es posible almacenar en la batería se perderá en forma de calor (Efecto Joule) en el regulador.

Por lo que el regulador de carga se considera como un dispositivo que protege la batería de las sobrecargas, de evitar que se descargue por inversión de corriente mediante diodos, o proporcionar información del estado de sistema.

Existe otra función que se le suele achacar al regulador de carga y que éste sólo realiza cuando tiene conectado un consumo en corriente continua, se trata de la protección frente a descargas profundas. El regulador tiene un interruptor tipo A que corta la corriente entregada por la batería al consumo sólo cuando este se realiza en continua, ya que la corriente sí que pasa por el regulador. En caso de consumir en alterna, que es lo más habitual, la descarga de la batería se realiza por el inversor y el regulador de carga no puede controlar la descarga de la batería.

Algunos reguladores permiten el control de cargas mediante la programación de encendidos y apagados de las cargas en corriente continua conectadas al regulador.

### **Tipos de Reguladores:**

Existen dos tipos de reguladores de carga para instalaciones eólicas: los reguladores PWM (Modulación por anchura de pulsos) y los reguladores MPPT (Seguidor del Punto de Máxima Potencia).

### **Especificaciones:**

<i>Parámetro</i>	<i>Valor</i>
<i>Potencia Nominal / Capacidad</i>	1000 W
<i>Voltaje</i>	12V/24V/48V
<i>Temperatura Máxima de Operación</i>	52°C
<i>Arquitectura base</i>	PWM
<i>Valores de Monitorización</i>	Batería alta/baja/estado
<i>Otras Características:</i>	Construcción modular Recubrimiento antipolvo Resistente a la corrosión Modo de frenado automático Protección contra sobretensiones



*Ilustración 50. Regulador de carga Luminous 1000W*



## 6.6 Otros Equipos

Para que sea posible el aprovechamiento de la energía generada por el aerogenerador, es necesario disponer de algún equipo que sea capaz de almacenar dicha potencia con el objetivo de que esta pueda ser empleada en el momento temporal en el que el usuario la necesita y a su vez que esta se encuentre dentro de las propiedades aptas para su consumo (Corriente alterna a 220V).

### 6.6.1 Baterías

La disponibilidad de energía solar y del viento para producir la electricidad, raras veces coincide con el momento en la que la necesitamos, por lo que balancear la energía entre la producción y el uso es imprescindible.

El almacenamiento de la energía se puede realizar en varias formas:

- Térmica, por ejemplo, calentar y almacenar el agua en tanques aisladas.
- Mecánica, por ejemplo, aprovechando la energía potencial del agua en centrales hidroeléctricas reversibles, o la energía cinética de volantes de inercia (usados en locomotoras y los sistemas KERS de la fórmula 1).
- Eléctrica en condensadores eléctricos (supercondensadores y ultra capacitores por ejemplo en frenos regenerativos).
- Química en los diferentes tipos de baterías, que es el método que utilizaremos en nuestro banco de ensayos.

Todas estas formas tienen ventajas y desventajas, y en sistemas de energías solar y eólica, las más aptas son las baterías a base de plomo (acumuladores). Otros tipos de baterías, sobre todo los de Ion de Litio (Li-Ion) están en desarrollo y cada vez más sustituyen las de plomo.

Las baterías representan gran parte de la inversión, pero tienen frecuentemente la vida más corta de toda la instalación, todas las baterías funcionan bien al inicio, las diferencias se muestran en su expectativa de vida. Hay baterías que pueden durar más de veinte años y otras, bajo las mismas condiciones, pueden durar 2 años.

Como hemos comentado anteriormente, en nuestro caso en particular, disponemos de dos baterías de gel con una tensión nominal de 12V y una capacidad de carga de 70 Ah, para ser más exactos nos encontramos ante el modelo UP-SP070 del fabricante U-power.



Ilustración 51. Batería 12V DC UP-SP070

### 6.6.2 Inversor

Un inversor eólico es un convertidor que transforma la energía de corriente continua procedente de las baterías del aerogenerador en corriente alterna. Estos se subdividen en: inversores aislados e inversores conectados a la red. A día de hoy, prácticamente todos los inversores que se instalan son inversores conectados a la red.

Los inversores se pueden clasificar de diferentes formas. De acuerdo con el número de fases se pueden distinguir entre inversores monofásicos y trifásicos. Con respecto a la configuración del sistema, se suelen distinguir entre: inversores centrales, inversores en cadena e inversores modulares (AC módulos). Asimismo, con respecto al número de etapas, se pueden distribuir entre los inversores de una etapa, de dos etapas y multietapas.

El inversor que procederemos a instalar en nuestro banco de ensayos será el inversor *Phoenix Inverter 12/1200* del fabricante *Victron Energy*.



Ilustración 52. Inversor monofásico 12V

## 7. Disposición de los equipos en el Banco de Ensayos.

De cara a la disposición de los diferentes elementos que emplearemos en nuestro banco de ensayos, procederemos a incluir una serie de imágenes que reflejen claramente su situación dentro del banco de ensayos.

En primer lugar, comenzaremos con el aerogenerador eólico situada en el interior del denominado banco de ensayos, en el cual se sitúa el ya mencionado sensor de velocidad de giro unido por medio de una brida metálica de apriete rotativo a la góndola. Para que el sensor tenga la capacidad de leer cada uno de los giros de aerogenerador, se le ha instalado cogido con otra brida metálica a las aspas, un pequeño imán encargado de hacer contacto con el sensor de nuestro molino a una distancia de separación de aproximadamente unos 3 - 5mm como podemos apreciar a continuación:



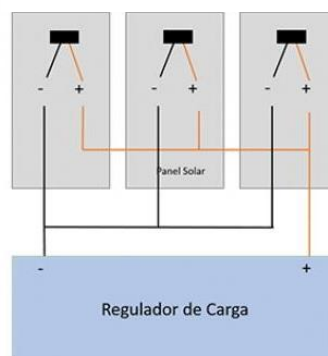
*Ilustración 53. Localización Sensor veloc. giro*

Por otro lado, del eje del aerogenerador brotan 3 cables directamente conectados al regulador de carga que transportan la tensión y corriente generados que transcurren por una canaleta instalada recientemente con la finalidad de proteger los circuitos y otorgar un ápice estético a nuestra instalación. Estos conductores reciben el nombre de entradas W1, W2 y W3 cuando llegan al regulador de carga.



*Ilustración 54. Canaletas conductoras de reciente instalación*

Puesto que el regulador de carga es el punto intermedio entre el aerogenerador y las celdas de almacenamiento, ya que es un dispositivo encargado de controlar el estado de carga en las baterías constantemente, monitorizando la entrada de corriente proveniente del panel solar, así como regulando la intensidad de carga, todo esto con la finalidad de alargar la vida útil de las baterías evitando que se produzcan sobrecargas y sobredescargas profundas en la batería, es conveniente indicar que dispone de otras dos salidas reservadas para estas, y que estarán conectadas a los bornes positivos y negativos de dichos acumuladores dispuestos en paralelo de la siguiente forma:



*Ilustración 55. Conexión de baterías en paralelo*

Como podemos apreciar en la imagen, de cada salida del regulador derivan las conexiones en paralelo hacia las baterías. La razón por la cual se decide disponer de esta configuración de baterías, radica principalmente en la tensión de entrada soportada por el inversor, ya que esta se define como máximo en 12V. Si la conexión de las baterías fuera en serie, la tensión de 12V propia de cada batería se sumarían, dando como resultado una tensión de entrada al inversor de 24V, lo que supondría su desconexión.

Desde las baterías, donde se almacena la electricidad en forma de corriente continua, surgen dos cables con una sección bastante mayor a la de los cables de entrada a la batería que conectan en paralelo los acumuladores, estos dos de alto grosor se conectan directamente con el inversor de carga encargado de transformar la corriente en continua procedente de las baterías en una corriente alterna apta para el consumo.

De acuerdo a evitar posibles sobrecargas de la batería de 12V que pueda dañar el inversor de corriente, procederemos a instalar un fusible con su correspondiente portafusibles a uno de los tramos que conectan las baterías con el inversor, más en concreto al positivo. El tamaño de este fusible será de 100 A, esto vendrá dado por la tolerancia de nuestro inversor.

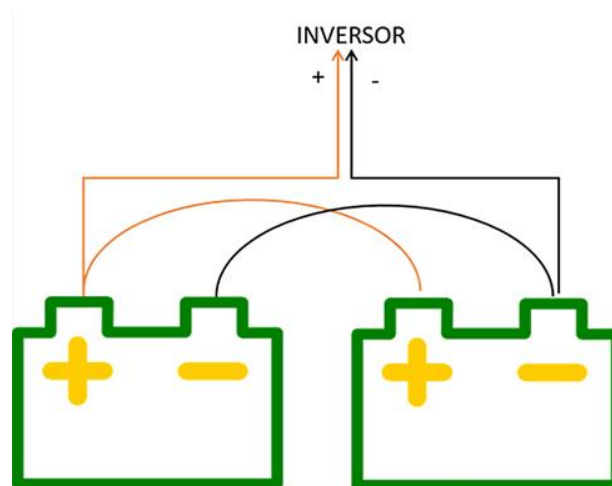


Ilustración 56. Cableado de Inversor

Normalmente, a la salida del inversor se le suele disponer algún tipo de carga degenerativa cuyo propósito no es ni más ni menos que ir consumiendo parte de la corriente almacenada en las baterías para poder corroborar durante los ensayos que dichas baterías se encuentran dentro de un circuito cíclico de carga y descarga, y no tienen ningún problema.

Respecto a la instalación de los diferentes sensores de los que es partícipe nuestro banco de ensayos encontramos:

- Los anemómetros de hilo caliente irán dispuestos de forma horizontal sobre un perfil de aluminio de unos 2 cm<sup>2</sup>. Esta barra irá situada entre los ventiladores y el aerogenerador, de forma que pueda medir la velocidad del viento generada por dichos motores asíncronos. Por otro lado, esta barra que dispone de 4 anemómetros tendrá la posibilidad de ser desplazada en el eje Y, de forma que pueda verse modificada en altura, así tendremos la posibilidad de medir la velocidad del viento en diferentes medidas de altura dentro del banco de ensayos. La distancia entre los anemómetros situados en la parte superior de la barra con una pieza metálica en forma de escuadra, también se puede modificada, ya que todas las piezas son correderas entre los raíles del perfil de aluminio, a pesar de esto, la medida considerada más oportuna de cara a la obtención de los parámetros de velocidad es de aproximadamente 50 cms. entre sensores.



*Ilustración 57. Localización de anemómetros en banco de ensayo*



*Ilustración 58. Localización de anemómetros en banco de ensayo*

- En relación al sensor de presión (Barómetro), este se encontrará protegido por una caja plástica con protección IP-65 situada en uno de los laterales del banco de ensayos, más concretamente en el más cercano al lugar de toma de datos, a una altura aproximada de un metro sobre el suelo.



Ilustración 59. Localización de presostato en banco de ensayos

- A la hora de instalar la sonda de temperatura ambiente o Pt100, nos hemos decantado por una localización más bien alejada de la influencia de los vientos generados por los motores asíncronos trifásicos. Esto se debe que la medida podría verse alterada por la disminución de temperatura originada por los vientos. El lugar idóneo por lo tanto para su instalación se encuentra aproximadamente a unos 2.5 metros del suelo, y situada a la distancia a la que se encuentra el aerogenerador (respecto a los motores). Aquí podemos apreciar de una forma más gráfica la instalación de dicho componente.



Ilustración 60. Localización de sensor de Tª Pt100 en banco de ensayos

- De cara al transductor de intensidad encargado de medir la intensidad generada por el aerogenerador, gracias al empleo del principio de Hall, estará dispuesto en la línea de voltaje positivo que irá desde el regulador de carga hasta los extremos o bornes de la batería (+). Para ello, se atravesará la pinza del transductor en hasta 3 ocasiones con la finalidad de obtener una medida más fiable de cara a la adquisición de datos. El componente en sí se encontrará atornillado a un perfil de aluminio en la parte baja del banco de ensayos cercana a la batería y regulador de carga. En la imagen adjunta, podremos situar de una forma más visual la posición de dicho transductor:



*Ilustración 61. Localización de transductor de intensidad en banco de ensayos*

- Por otro lado, el transductor de tensión encargado de medir el voltaje generado por el aerogenerador se dispondrá, a diferencia del resto de componentes expuestos, dentro de uno de los cuadros de conexiones, más en concreto del situado en la parte alta anclado a nuestro carril DIN estándar. Las conexiones como tal para la medición del valor requerido se realizarán directamente desde los bornes de la batería. Por cuestiones de rangos de medición de nuestro transductor de tensión, situado este en 24V, es necesario que nuestras baterías se encuentren dispuestas en serie, ya que si estuvieran conectadas en paralelo únicamente obtendríamos 12V.  
En la siguiente imagen podemos encontrar la disposición de nuestro sensor, dentro del contexto del cuadro de conexiones superior.



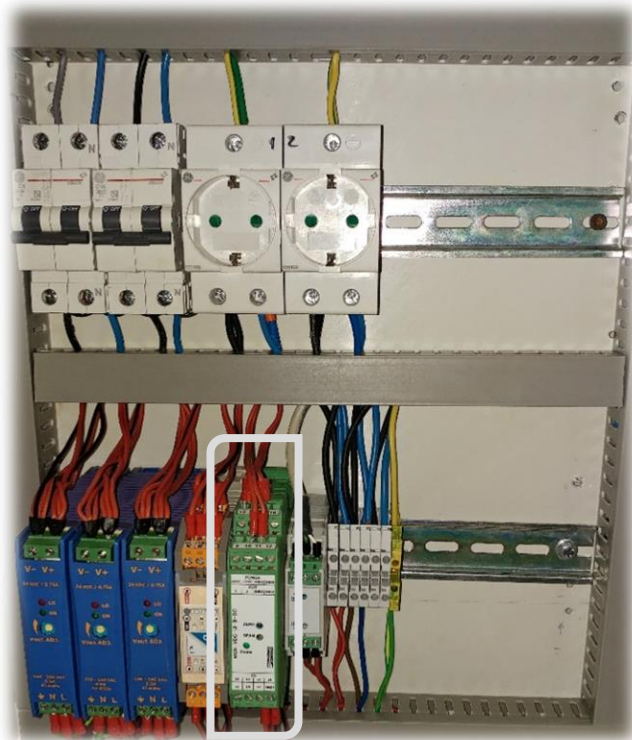


Ilustración 62. Localización de transductor de tensión en cuadro eléctrico

- Una vez mostrado parte del cuadro superior convendría en cierto modo realizar una pequeña introducción de los elementos dispuestos en él. Como podemos observar en la imagen superior, en primer lugar, nos encontramos los disyuntores magnetotérmicos encargados proteger nuestro cuadro de los picos de corriente provenientes de la toma de 220V del laboratorio, ya que este tipo de instrumentación es bastante delicada a dichos altibajos.

Debido a posibles conexiones remotas por medio de PC o algún otro dispositivo encargado de la configuración y monitorización del banco de ensayos, es conveniente casi siempre situar algún tipo de punto de alimentación para este, de ahí nuestra inclusión de dos enchufes de 220V hembras.

En la parte inferior del cuadro, encontramos la instrumentación a 24V, por lo que de izquierda a derecha encontraremos los siguientes componentes:

- 3x Fuente de alimentación 220V – 24V.
- 1x Transductor de tensión 24V.
- 1x Convertidor de Frecuencia 24V (Frecuencia de Giro).
- 1x Transmisor de Temperatura.

- En el cuadro situado en la parte baja del banco de ensayos hallamos el circuito de potencia encargado principalmente del comando de los motores asíncronos encargados de generar las rachas de viento necesario por el estudio.

Este circuito tiene lugar gracias a la presencia de tensión trifásica en nuestro taller experimental, elemento fundamental para el control de dichos motores. En referencia al listado de componentes que encontraremos a la hora de inspeccionar nuestro cuadro, cabe destacar la presencia de:

- 2x Variadores de Frecuencia Trifásicos
- 1x Disyuntor magnetotérmico Trifásico
- 2x Guardamotores Trifásicos
- 1x Bornero común Masas
- 12x Bornero de Fase Motor



*Ilustración 63. Cuadro eléctrico destinado al control de potencia eólico*

## 8. Comunicación MODBUS

Modbus es un protocolo de solicitud-respuesta implementado usando una relación maestro-esclavo. En una relación maestro-esclavo, la comunicación siempre se produce en pares, un dispositivo debe iniciar una solicitud y luego esperar una respuesta y el dispositivo de inicio (el maestro) es responsable de iniciar cada interacción. Por lo general, el maestro es una interfaz humano-máquina (HMI) o sistema SCADA y el esclavo es un sensor, controlador lógico programable (PLC) o controlador de automatización programable (PAC). El contenido de estas solicitudes y respuestas, y las capas de la red a través de las cuales se envían estos mensajes, son definidas por las diferentes capas del protocolo.

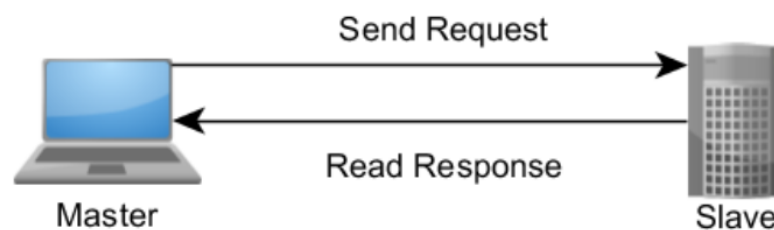


Ilustración 64. Estructura maestro-esclavo Modbus

Modbus fundado 1979 por Modicon para su gama de controladores lógicos programables (PLCs). Convertido en un protocolo de comunicaciones estándar de gran uso en la industria, es el que goza de mayor disponibilidad para la conexión de dispositivos electrónicos industriales.

Las principales razones por las cuales el uso de Modbus en el entorno industrial se ha impuesto a otros protocolos de comunicaciones son:

- Se diseñó teniendo en cuenta su uso para aplicaciones industriales
- Es público y gratuito
- Es fácil de implementar y requiere poco desarrollo.
- Maneja bloques de datos sin suponer restricciones.

Existen diferentes tipos de conexiones físicas, a su vez, como este protocolo usa líneas en serie, la implementación más común se realiza a través de redes de comunicación RS-485, serial RS-232 e incluso vía TCP/IP en red Ethernet.

La red serial RS-232, o “Estándar recomendado 232”, es una interfaz que designa una norma para el intercambio de datos binarios serie entre un DTE (“Equipo Terminal de Datos”), como puede ser el ejemplo de un ordenador y un DCE (“Equipo de Comunicación de Datos”), por ejemplo, un módem. El RS-232 consiste en un conector tipo DB-25 (25 pines), aunque cada vez es más frecuente encontrarlo con su versión en 9 pines.

Este tipo de conexiones están pensadas para distancias cortas de hasta 15 metros y velocidades de comunicación bajas, nunca más de 20 kbps. La interfaz puede trabajar en comunicación asíncrona o síncrona y tipos de canal *simplex*, *half dúplex* o *full dúplex*.



Ilustración 65. Red Serial RS-232 9 pines



Ilustración 66. Red Serial RS-232 25 pines

El estándar RS-485, es un sistema de bus diferencial multipunto, tiene la capacidad de transmitir a altas velocidades sobre largas distancias (10 Mbit/s hasta 12 metros y 100 kbit/s en 1200 metros) y a través de canales ruidosos.

El medio físico de transmisión es un par trenzado que admite 32, 128 o 256 estaciones en 1 solo par, con una longitud máxima de 1200 metros operando entre 300 y 19 200 bit/s y la comunicación *half-dúplex* dependiendo del consumo de cada driver. Algunas de sus más características especificaciones son:

- Interfaz Diferencial
- Conexión Multipunto
- Alimentación única de + 5V
- Hasta 32 estaciones
- Velocidad Máxima de 10 Mbit/s (a 12 metros)
- Longitud Máxima de alcance de 1200 metros.
- Rango de Bus de – 7V a + 12V



Ilustración 67. Adaptador serial RS-232 a RS-485

Para la instalación en nuestro banco de ensayos de los estándares anteriormente mentados, con el objetivo de poder realizar un control de los variadores de frecuencia encargados de gobernar los diferentes motores asíncronos presentes en nuestras instalaciones, nos hemos decantado por un adaptador entre los seriales RS-232 y RS-485.

Esto se debe a que el variador de frecuencia requiere de una conexión RS-485, pero esta no es compatible con las computadoras de hoy en día, por lo que es necesario dicho adaptador. Este conector tiene la siguiente forma:

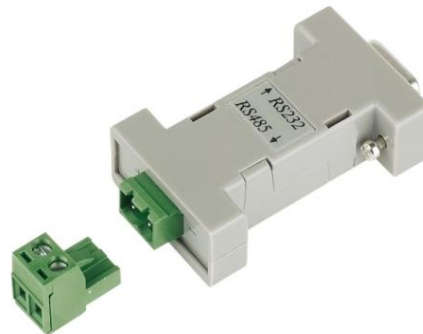


Ilustración 68. Adaptador serial RS-485 a PC

Nuestro variador de frecuencia trabajará en un régimen de solicitud y respuesta con un pequeño tiempo de desfase entre ambas acciones. A continuación, procederemos a definir estos dos términos.

Cada función sigue un patrón. Primero, el esclavo valida entradas como el código de función, dirección de datos y el rango de datos. Después, ejecuta la acción solicitada y envía una respuesta adecuada al código. Si cualquier paso en este proceso falla, se regresa una excepción al solicitante. El transporte de datos para estas solicitudes es la PDU.

## 8.1 Transmisión MODBUS

Hay muchas variantes de protocolos Modbus, existen versiones del protocolo Modbus para el puerto serie, para Ethernet, y otros protocolos que soportan el conjunto de protocolos TCP/IP de Internet:

### 8.1.1 Protocolos de Transmisión

- RTU (Remote Transmission Unit): Es la implementación más común disponible para Modbus. Frecuente en comunicación en serie y hace uso de una representación binaria compacta de los datos para el protocolo de comunicación. El formato RTU sigue a los comandos/datos con una suma de comprobación de redundancia cíclica (CRC) como un mecanismo de comprobación de errores para garantizar la fiabilidad de los datos. Esta será el protocolo seleccionado para la comunicación entre los variadores de frecuencia y el ordenador.

<i>Nombre</i>	<b>Longitud</b>	<b>Función</b>
<i>Inicio</i>	28	Al menos 3 ½ tiempo de silencio
<i>Dirección</i>	8	Dirección de la estación
<i>Función</i>	8	Indica el código de función
<i>Datos</i>	n x 8	Datos + Longitud (Vendrá dada por el tipo de mensaje)
<i>CRC</i>	16	Verificación de redundancia cíclica
<i>Fin</i>	28	Al menos 3 ½ tiempos de silencio entre tramas

- ASCII: El protocolo ASCII (American Standard Code for Information Interchange), al igual que el RTU se utiliza en la comunicación en serie y hace uso de caracteres ASCII para el protocolo de comunicación. En este caso utiliza un checksum de control de redundancia longitudinal (LRC).

<i>Nombre</i>	<i>Longitud</i>	<i>Función</i>
<i>Inicio</i>	1	Comienza con dos puntos: (El valor HEX ASCII es 3A)
<i>Dirección</i>	2	Dirección de la estación
<i>Función</i>	2	Indica el código de función
<i>Datos</i>	n x 2	Datos + Longitud (Vendrá dada por el tipo de mensaje)
<i>LRC</i>	2	Verificación de redundancia longitudinal
<i>Fin</i>	2	Par retorno de carro/avance de línea (Valores ASCII de 0D , 0)

### 8.1.2 Unidad de Datos de Protocolo

El formato de Modbus PDU está definido como un código de función seguido por un conjunto de datos asociado. El tamaño y el contenido de estos datos son definidos por el código de función y la PDU completa (código de función y datos) no puede exceder de 253 bytes de tamaño, y cada código de función tiene un comportamiento específico que los esclavos pueden implementar de manera flexible en base al comportamiento de la aplicación deseada.

Los datos disponibles por medio de Modbus son almacenados, en general, en uno de los cuatro bancos de datos o rangos de dirección: bobinas, entradas discretas, registros de retención y registros de entrada. Los dispositivos esclavos tienen acceso directo a estos datos, los cuales son alojados localmente en los dispositivos. Los datos disponibles por medio de Modbus generalmente son un subconjunto de la memoria principal del dispositivo. En contraste, los maestros Modbus deben solicitar el acceso a estos datos a través de diversos códigos de función.

<i>Bloque de Memoria</i>	<i>Tipo de datos</i>	<i>Acceso de Maestro</i>	<i>Acceso de Esclavo</i>	<i>Prefijo</i>
<i>Bobinas</i>	Booleano	Lectura/Escritura	Lectura/Escritura	0
<i>Entradas Discretas</i>	Booleano	Solo Lectura	Lectura/Escritura	1
<i>Registros de Retención</i>	Palabra sin signo	Lectura/Escritura	Lectura/Escritura	3
<i>Registros de Entrada</i>	Palabra sin signo	Solo Lectura	Lectura/Escritura	4

Estos bloques le brindan la habilidad de restringir o permitir el acceso a los diferentes elementos de datos y también de proporcionar mecanismos simplificados en la capa de aplicación para tener acceso a diferentes tipos de datos.

Los bloques son completamente conceptuales. Pueden existir como direcciones de memoria separadas en un sistema determinado, pero también pueden traslaparse. Por ejemplo, la bobina uno puede existir en la misma ubicación en memoria como el primer bit de la palabra representada por el registro de retención uno. El esquema de dirección se define completamente por el dispositivo esclavo y su interpretación de cada bloque de memoria es una parte importante del modelo de datos del dispositivo.

Para la ejecución de funciones del esclavo, hay que destacar que se pueden definir varias de ellas con el objetivo de tener acceso a los bloques conceptuales de datos de manera simultánea, siempre y cuando el esclavo valide el código de función, el número de entradas, la dirección de inicio, el rango total y la ejecución de la función definida por el esclavo que realiza la lectura. Algunos de los códigos de mayor empleo son:

<i>Código</i>	<i>Funcionalidad</i>	<i>Código</i>	<i>Funcionalidad</i>
1	<i>Leer Bobinas</i>	15	<i>Escribir a múltiples bobinas</i>
2	<i>Leer entradas discretas</i>	16	<i>Escribir a múltiples registros</i>
3	<i>Leer múltiples registros</i>	20	<i>Leer registro de archivo</i>
4	<i>Leer registros de entrada</i>	21	<i>Escribir a registro de archivo</i>
5	<i>Escribir a bobina individual</i>	22	<i>Escribir a registro con máscara</i>
6	<i>Escribir a registro individual</i>	23	<i>Leer/escribir múltiples registros</i>
7	<i>Leer estado de Excepción</i>	24	<i>Leer FIFO</i>



### 8.1.3 Estructura de Mensajes

La red Modbus-RTU utiliza, como ya hemos introducido anteriormente, el sistema maestro-esclavo para el intercambio de mensajes. Este permite hasta 247 esclavos y únicamente un maestro, y su comunicación da comienzo con la solicitud del maestro a un esclavo, contestando este último al maestro que previamente le ha solicitado una orden. En ambos canales, solicitud y respuesta, la estructura utilizada es la misma: Dirección, Código de la Función, Datos y Checksum.

#### Dirección

- El maestro envía un byte con la dirección específica del esclavo al cual se dirige el mensaje, este envía la respuesta con su propia dirección, posibilitando que el maestro conozca cual esclavo está enviándole la respuesta. El maestro también puede enviar un mensaje a la dirección “0”, o lo que es lo mismo, a todos los esclavos de la red. En este caso, ningún esclavo contestará.

#### Código de la Función

- Este campo contiene un único byte, el maestro especifica el tipo de función solicitada al esclavo (lectura, escrita, etc.). De acuerdo con el protocolo, cada función es utilizada para acceder un tipo específico de dato.

#### Campo de Datos

- Campo con tamaño variable. El formato y el contenido de este campo dependen de la función utilizada y de los valores transmitidos. Este campo está descrito juntamente con la descripción de las funciones

#### Checksum

- Es el campo para el chequeo de errores de transmisión. El método utilizado es el CRC-16 (Cycling Redundancy Check) y está formado por dos bytes. El primero se transmite al byte menos significativo (CRC-), y el segundo al más significativo (CRC+).

## 8.2 Conexión MODBUS de los variadores de Frecuencia

Para el control de nuestros 2 variadores de frecuencia 3G3 MX2-A4030-E mediante el software LabVIEW, de forma que no tengamos la necesidad de hacer ninguna incursión en nuestro cuadro de conexiones, será de vital importancia la presencia del protocolo MODBUS utilizando Macro Protocolo.

La idea en cuestión es la de poder controlar desde nuestra pantalla de ordenador, la velocidad de las ráfagas de viento incidentes en nuestro aerogenerador gracias a la modificación del valor que hace referencia a la frecuencia de nuestros variadores. Para ello, será necesario la conexión de cableado entre la carta de comunicación (Ordenador de sobremesa) y los variadores por medio del ya mencionado puerto RS-485 a 2 hilos, teniendo en cuenta que ambos variadores quedarán en disposición paralela y deberán de estar configurados en modo MODBUS.

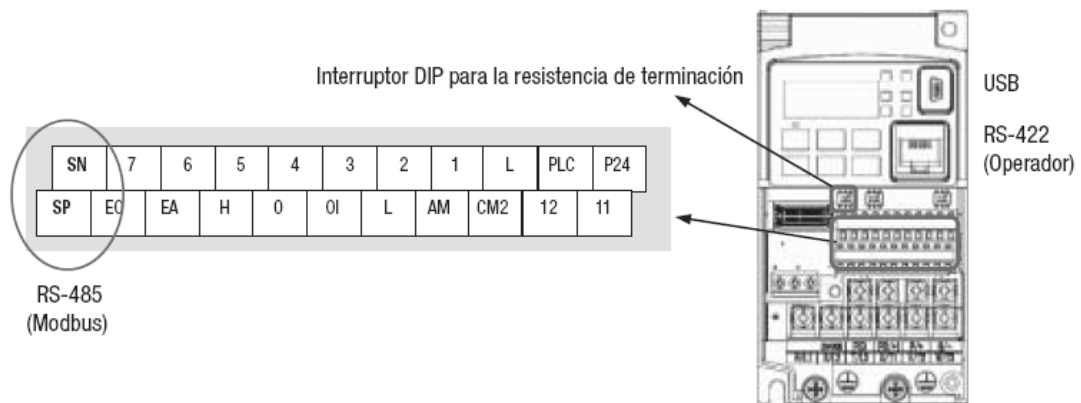


Ilustración 69. Terminales variador de frecuencia

Los terminales del variador que se encuentran remarcados por una circunferencia son aquellos sobre los que se realizarán las conexiones, siendo el SN el terminal negativo y el SP el terminal positivo del RS232.



Ilustración 71. Conexión en paralelo de variadores de frecuencia

Como podemos ver en la imagen anterior, la conexión MODBUS de la que estamos hablando entre los variadores de frecuencia y el puerto RS-485 del ordenador es llevada a cabo por el conductor de color gris conectado en paralelo.

Respecto a la configuración necesaria desde el propio variador de frecuencia para poder llevar a cabo su control con nuestro programa de LabVIEW, esta radica tan solo en establecer 5 valores principales dentro de las funciones internas de cada elemento. Las funciones indicadas son las siguientes:

<i><b>Función</b></i>	<i><b>Nombre</b></i>	<i><b>Valor a establecer</b></i>
A001	Fuente de Frecuencia Motor 1	00 Potenciómetro en operador externo 01 Terminal de control 02 Configuración de la Función F001 03 <b>Entrada de red MODBUS</b>
A201	Fuente de Frecuencia Motor 2	04 Opción 06 Entrada de tren de pulsos 07 Mediante EzSQ 10 Salida de la función de cálculo
A002	Fuente de Comando RUN Motor 1	01 Terminal de Control 02 Tecla RUN del teclado u operador digital
A202	Fuente de Comando RUN Motor 2	03 <b>Entrada de red MODBUS</b> 04 Opción
C072	Dirección de red MODBUS (1-247)	<b>Variador 1: Rango #1</b> <b>Variador 2: Rango #2</b>

Para acceder a las diferentes funciones a modificar, será necesario navegar por el menú de nuestro inversor gracias a la disponibilidad de un sencillo e intuitivo teclado secuencial.

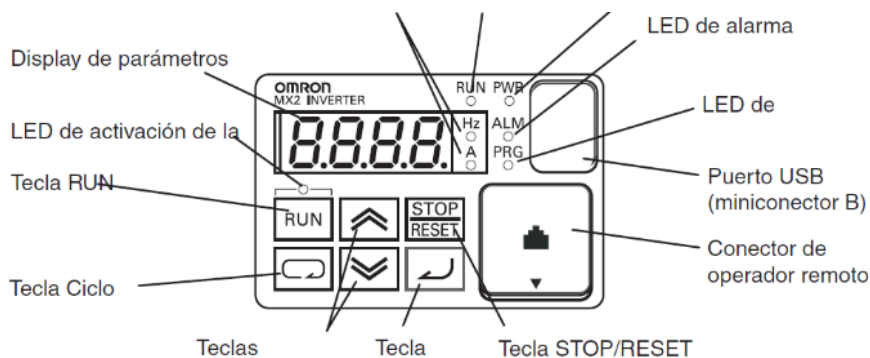


Ilustración 72. Pantalla LCD y teclado variador de frecuencia

Los pasos para modificar los valores son los siguientes:

- Inicializamos nuestros variadores de frecuencia. En pantalla aparece
- Pulsamos la tecla  2 veces hasta seleccionar el grupo “A”
- Pulsamos la tecla  para acceder dentro de la función.
- Con las teclas / seleccionamos el operador 03
- Por último, pulsamos de nuevo la tecla  para almacenar el parámetro.

Para realizar el cambio del resto de funciones,    solo deberemos desplazarnos hacia arriba dentro del grupo “A” / con las teclas y llevar a cabo los mismos pasos descritos arriba.

En el caso del ajuste del parámetro  para poder definir el rango de red MODBUS, si partimos desde el último paso realizado a la hora de editar los valores de las fuentes de frecuencia y comando solo tendríamos que realizar lo siguiente:

- Pulsamos la tecla  2 veces hasta seleccionar el grupo “C”
- Pulsamos la tecla  72 veces hasta alcanzar
- A continuación,  para acceder dentro de la función y poder seleccionar los operadores 1 ó 2 en función del variador que estemos configurando con las teclas /
- Finalmente almacenamos de nuevo el valor con la tecla

Para que los valores anteriores se establezcan como configuración predeterminada de nuestros variadores, será necesario, como al igual que cualquier otro variador de frecuencia del mercado, este sea reiniciado justo después de la introducción de los nuevos valores.

Otra opción viable, sería la de desconectar nuestros componentes en modo “Reset” y volverlo a conectar a continuación.

### 8.3 Funciones del variador de frecuencia en LabVIEW

A la hora de programar nuestra interfaz en LabVIEW, deberíamos de realizar una pequeña recopilación de los diferentes comandos o funciones que nos resultarían interesantes tener la capacidad de activar de forma automática, de cara al control de nuestros variadores de frecuencia.

Entre las posibilidades que nos otorga nuestro variador de frecuencia de la conocida marca *OMRON*, más en concreto el modelo 3G3 MX2-A4030-E son:

Bobina n°	Elemento	R/W	Configuración
0000h	sin utilizar	–	(Inaccesible)
0001h	Comando de operación	R/W	1: marcha, 0: parada (válido cuando A002 = 03)
0002h	Comando de sentido de rotación	R/W	1: rotación inversa, 0: rotación directa (válido cuando A002 = 03)
0003h	Disparo externo (EXT)	R/W	1: Disparo
0004h	Reset de disparo (RS)	R/W	1: Reset
0005h	(Reservado)	–	–
0006h	(Reservado)	–	–
0007h	Terminal de entrada inteligente [1]	R/W	1: ON, 0: OFF (*1)
0008h	Terminal de entrada inteligente [2]	R/W	1: ON, 0: OFF (*1)
0009h	Terminal de entrada inteligente [3]	R/W	1: ON, 0: OFF (*1)
000Ah	Terminal de entrada inteligente [4]	R/W	1: ON, 0: OFF (*1)
000Bh	Terminal de entrada inteligente [5]	R/W	1: ON, 0: OFF (*1)
000Ch	Terminal de entrada inteligente [6]	R/W	1: ON, 0: OFF (*1)
000Dh	Terminal de entrada inteligente [7]	R/W	1: ON, 0: OFF (*1)
000Eh	(Reservado)	–	–
000Fh	Estado de operación	R	1: marcha, 0: parada (interbloqueado en "d003")
0010h	Sentido de rotación	R	1: rotación inversa, 0: rotación directa (interbloqueado en "d003")
0011h	Variador preparado	R	1: preparado, 0: no preparado
0012h	(Reservado)	–	–
0013h	RUN (en marcha)	R	1: en marcha, 0: no en marcha
0014h	FA1 (velocidad constante alcanzada)	R	1: ON, 0: OFF
0015h	FA2 (frecuencia establecida superada)	R	1: ON, 0: OFF
0016h	OL (aviso anticipado de sobrecarga (1))	R	1: ON, 0: OFF
0017h	OD (desviación de salida para control PID)	R	1: ON, 0: OFF
0018h	AL (señal de alarma)	R	1: ON, 0: OFF
0019h	FA3 (frecuencia establecida alcanzada)	R	1: ON, 0: OFF
001Ah	OTQ (par excesivo)	R	1: ON, 0: OFF
001Bh	(Reservado)	–	–
001Ch	UV (tensión baja)	R	1: ON, 0: OFF
001Dh	TRQ (par limitado)	R	1: ON, 0: OFF
001Eh	RNT (tiempo de operación transcurrido)	R	1: ON, 0: OFF
001Fh	ONT (tiempo de conexión transcurrido)	R	1: ON, 0: OFF
0020h	THM (señal de alarma térmica)	R	1: ON, 0: OFF
0021h	(Reservado)	–	–
0022h	(Reservado)	–	–
0023h	(Reservado)	–	–
0024h	(Reservado)	–	–
0025h	(Reservado)	–	–
0026h	BRK (liberación del freno)	R	1: ON, 0: OFF
0027h	BER (error de freno)	R	1: ON, 0: OFF
0028h	ZS (señal de detección de 0 Hz)	R	1: ON, 0: OFF
0029h	DSE (desvío máximo de velocidad)	R	1: ON, 0: OFF

En la tabla anterior se enumeran las bobinas principales para la interfaz del variador con la red. La leyenda de tabla se indica a continuación.

- Número de bobina: offset de la dirección de registro de red de la bobina. Los datos de bobina son un valor de bit único (binario).
- Nombre: el nombre funcional de la bobina.
- R/W: el acceso de sólo lectura (R) o lectura y escritura (R/W) permitido a los datos del variador.
- Descripción: significado de cada uno de los estados de las bobinas.

Entre los elementos por los cuales nos hemos decantado, y que encontramos de bastante utilidad su control son los siguientes:

<i>Bobina n°</i>	<i>Elemento</i>	<i>R/W</i>	<i>Configuración</i>
0001h	Comando de Operación	R/W	1: marcha, 0: parada
0002h	Comando de Sentido de rotación	R/W	1: rotación inversa, 0: rotación directa
0013h	RUN (Marcha)	R	1: marcha, 0: no marcha

Es importante tener en cuenta que, a la hora de definir estos elementos, no todas las direcciones hexadecimales concuerdan con lo expuesto en el manual de usuario del variador de frecuencia. Un ejemplo de esto, son los comandos 0001h y 0002h, los cuales están revertidos en la programación interna de nuestro variador de frecuencia.

## 9. Sistema de Control y Adquisición de datos

Un sistema de control y adquisición de datos o (DAQ), no es más que el denominado proceso encargado de medir con un ordenador, un fenómeno ya sea eléctrico o físico como puede ser el caso de voltaje, corriente, temperatura, presión o sonido. Los sistemas DAQ están conformados por 3 componentes principales y esenciales como son los sensores, el hardware de medidas DAQ y un ordenador con software programable. Comparados con los sistemas de medidas tradicionales, los sistemas DAQ actuales aprovechan mejor la potencia de procesamiento, visualización y las conectividades de los ordenadores proporcionando una solución de medidas más potente, flexible y rentable.



Ilustración 73. Componentes esenciales en sistema de adquisición de datos

De una forma algo más concisa, procederemos a detallar estos puntos destacados en el organigrama de la adquisición y control de datos:

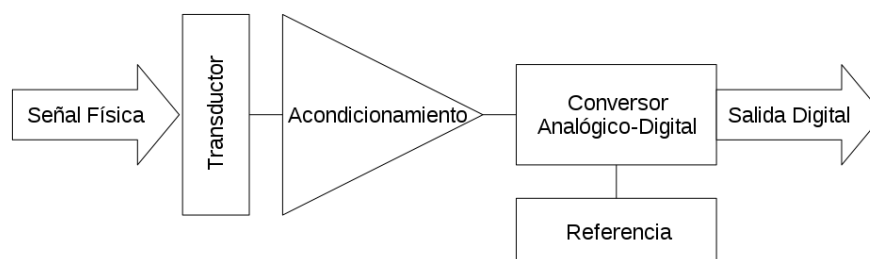
- **Sensores:** Los sensores son los componentes encargados de convertir fenómenos físicos en una señal eléctrica medible. En función del sensor, la salida posible para estos puede ser, bien un voltaje, bien una corriente, o bien una resistencia, hablando siempre de forma estándar, ya que existen otros tipos de atributos menos comunes capaces de ser medibles. Es importante mencionar que debe existir dentro de nuestra ecuación, un diferencial de tiempo que otorga a nuestro sistema de valor a tiempo real. Algunos ejemplos de sensores utilizados en la industria son los siguientes:

- Sensores mecánicos, que miden cantidades como: posición, forma, velocidad, torque, fuerza, presión, deformación, masa o vibración.
  - Sensores eléctricos, con funciones de medida basados en: voltajes, corrientes, cargas resistivas o conductividades.
  - Sensores magnéticos que mide: campos, flujos o permeabilidad magnética.
  - Sensores térmicos destinados a medir: temperatura, flujos, conductividad y calor específico.
  - Otros sensores: acústicos, ópticos, láser, fibra óptica, ultrasónicos o químicos.
- 
- **Dispositivos y Tarjetas DAQ:** Actúan como la interfaz entre el ordenador y las señales del mundo exterior recogidas por los sensores. Son dispositivos que digitalizan señales analógicas como entrada, para que estas puedan tener sentido y ser interpretadas por un ordenador. Los componentes claves que conforman un dispositivo DAQ son:
    - Circuito de acondicionamiento de señales. Las señales recogidas por los sensores pueden contener ruidos y ser demasiado peligrosas para su medición directa. El circuito de acondicionamiento se encarga de manipular la señal de tal forma que se adecue a la entrada del convertidor. Encontramos las siguientes fases de acondicionamiento:
      - Amplificación. Es el tipo más común de acondicionamiento. Para conseguir la mayor precisión posible la señal de entrada debe ser amplificada de modo que su máximo nivel coincida con la máxima tensión que el convertidor pueda leer.
      - Aislamiento eléctrico entre el sensor y el ordenador. Se consigue proteger al mismo de transitorios de alta tensión que puedan dañarlo y garantizar que las lecturas del convertidor no son afectadas por diferencias de potencial de masa o por tensiones en modo común.
      - El multiplexado es la conmutación de las entradas del convertidor, de modo que con un sólo convertidor podemos medir los datos de diferentes canales de entrada. La frecuencia máxima de conversión será la original dividida entre el número de canales muestreados.
      - Filtrado. Se encarga de eliminar las señales no deseadas de la señal principal a medir. En el caso de las señales alternas como vibraciones y ruidos.



- Excitación. Durante el proceso de acondicionamiento, en ocasiones tiene lugar un excitamiento de los transductores, como por ejemplos las galgas "extensiométricas", "termistores" o "RTD", que necesitan de la misma, bien por su constitución interna, o bien por la configuración en que se conectan.
- Linealización. Algunos sensores, como pueden ser los termopares, poseen una respuesta no lineal ante modificaciones lineales de sus parámetros medidos, por esta razón, es necesario realizar determinadas correcciones mediante circuitos externos.
- Circuito de acondicionamiento de señales. Las señales recogidas por los sensores pueden contener ruidos y ser demasiado peligrosas para su medición directa. El circuito de acondicionamiento se encarga de manipular la señal de tal forma que se adecue a la entrada del convertidor. Puede incluir amplificación, atenuación, filtrado y aislamiento.
- Convertidor analógico-digital. Convierte las señales analógicas de los sensores en digitales antes de llegar al ordenador.
- Bus de PC. Los dispositivos se conectan a un PC a través de una ranura o puerto. El bus sirve como interfaz de comunicación de instrucciones y datos entre el DAQ y el ordenador o PC. Los más comunes son USB, PCI y Ethernet.
- **PC y software:** Un PC con software programable controla la operación del dispositivo DAQ y procesa, visualiza y almacena datos de medida. El software facilita la interacción entre el ordenador y el usuario.

A lo largo de esta memoria, hemos podido estudiar 2 de estos componentes principales que conforman el sistema de adquisición de datos, como son los sensores y los dispositivos o tarjetas DAQ, por lo que a continuación daremos paso a la tesis relacionado con el software empleado.



## 9.1 Software

Se conoce como software al soporte lógico e intangible de un sistema informático que comprende el conjunto de los componentes necesarios para posibilitar la realización de determinadas tareas, en contraposición a los componentes físicos que son llamados hardware. El Software envía instrucciones que el Hardware ejecuta, haciendo posible su funcionamiento.

El software en su gran mayoría, está escrito en lenguajes de programación de alto nivel con la finalidad de ser más sencillos y eficientes para los programadores, siendo más cercano al lenguaje natural respecto del lenguaje de la máquina. En nuestro caso particular se trata de un software de sistema, ya que su objetivo es alejar al usuario de los sistemas informáticos en particular, aislándolo de características internas como memoria, discos, puertos y dispositivos de comunicaciones y acercándolo a interfaces de alto nivel, controladores, herramientas y utilidades de apoyo que permiten el mantenimiento y monitorización del sistema global. Algunas de las funciones del software son:

- Permite al usuario tener el control sobre el hardware y dar soporte a otros programas informáticos.
- Proporciona las herramientas para optimizar estos recursos.
- Actúa como intermediario entre el usuario y la información almacenada.

Para la elección de nuestro software, nos hemos decantado por un entorno basado en NI LabVIEW.



### 9.1.1 Entorno de programación LabVIEW.

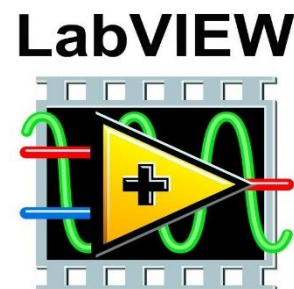
El software NI LabVIEW (Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench) es un entorno de programación gráfica muy intuitivo diseñado pensando en el desarrollo de aplicaciones fundamentadas en la adquisición, análisis y control de datos y funciones, basado en íconos, terminales y cables en lugar de texto, ya que refleja con mayor facilidad nuestros pensamientos e ideas en el programa en sí.

El primer paso para poder dar comienzo al diseño de nuestro sistema SCADA, será necesario establecer las variables a medir por medio de la instrumentación.

<i>Sensor</i>	<i>Variable</i>	<i>Unidad de medida</i>
Anemómetro	<i>Velocidad del Viento</i>	<i>m/s</i>
<i>Presostáto</i>	<i>Presión Atmosférica</i>	<i>Mbar</i>
<i>Tacómetro</i>	<i>Velocidad de Giro</i>	<i>Rpm</i>
<i>Pt100</i>	<i>Temperatura</i>	<i>°C</i>
<i>Transductor de tensión</i>	<i>Voltaje</i>	<i>V</i>
<i>Transductor de intensidad</i>	<i>Intensidad</i>	<i>A</i>

Una vez seleccionadas las unidades de medida de nuestra instrumentación, procederemos a conformar nuestra programación en LabVIEW. Los programas de LabVIEW son llamados instrumentos virtuales o Vis, ya que su apariencia y operación imitan a los instrumentos físicos, como osciloscopios y multímetros.

Un instrumento virtual (VI) es un módulo de software que simula los aspectos funcionales de un instrumento real, basándose en todos los dispositivos físicos que pueden ser controlados por un computador a través de sus diferentes puertos; USB o RS-232, entre otros. Nuestro Instrumento Virtual recopilará los datos de entrada de la tarjeta multiplexora 34921A, arrojados por la instrumentación.



La composición de un instrumento virtual consta de dos ventanas, la ventana frontal y el diagrama de bloques.

### Ventana Frontal

La ventana frontal es la interfaz de usuario para el control del VI una vez ejecutado, y aquí podemos incluir diferentes elementos de interacción relacionados con el control, adquisición y visionado de los datos a tiempo real de nuestro aerogenerador. Destaca la siguiente herramienta:

- Paleta de controles: Contiene los controles e indicadores que utiliza para crear el panel frontal, estos pueden ser de 3 tipos: Numéricos, Tipo Booleano y de Cadena de Caracteres.



Ilustración 74. Ejemplo de panel frontal para control de motor

### Diagrama de Bloques

El diagrama de bloques recopila toda la programación gráfica o código fuente. Los objetos del diagrama de bloques incluyen terminales, subVIs, funciones, constantes, estructuras y cables, los cuales transfieren datos junto con otros objetos del diagrama de bloques relacionando las entradas con las salidas creadas en el panel frontal.

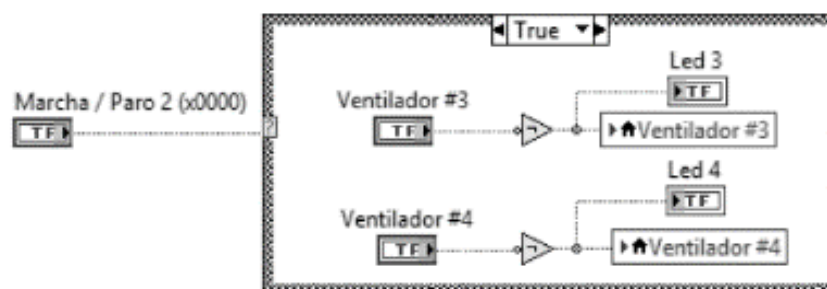


Ilustración 75. Ejemplo de diagrama de bloques para control de motor

## 10. Programación de LabVIEW

En el siguiente punto, nos detendremos a profundizar en detalle la programación establecida en nuestro entorno LabVIEW, con el fin de monitorizar nuestro aerogenerador y por lo tanto su instrumentación adherida, así como de las funciones creadas para controlar los variadores encargados de originar las rachas de vientos que hagan rotar a nuestro molino.

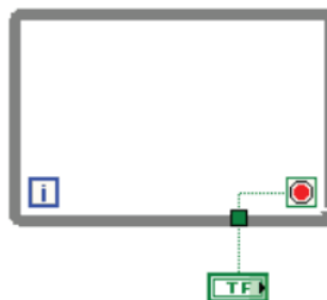
En primer lugar, comenzaremos definiendo el diagrama de bloques o VI, donde procederemos a crear una máquina de estados que nos otorgue la posibilidad de confeccionar diferentes escenarios posibles, gracias a la modificación del valor de entrada de los variadores de frecuencia.

Una máquina de estados es una estructura de programa que nos sirve para determinar el comportamiento de algo en base al estado en el que se encuentre, dependen de una función de transición que corresponderá con el estado siguiente y tendrá la capacidad de dar paso a un nuevo estado o en caso contrario, de finalizar el flujo del proceso. Para cada estado por tanto se tendrá un comportamiento, destacar que estas máquinas se pueden utilizar en muchos aspectos y niveles.

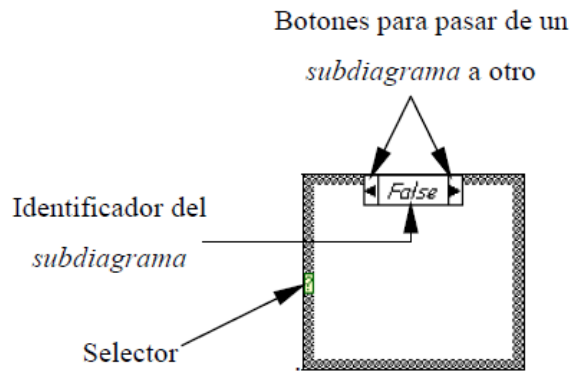
### 10.1 Diagrama de Bloques Adquisición de Datos

Cuando decidimos realizar nuestro diagrama de bloques, el primer paso a seguir será la definición de los ciclos o estructuras que emplearemos. En nuestro caso particular, hemos utilizado las siguientes estructuras:

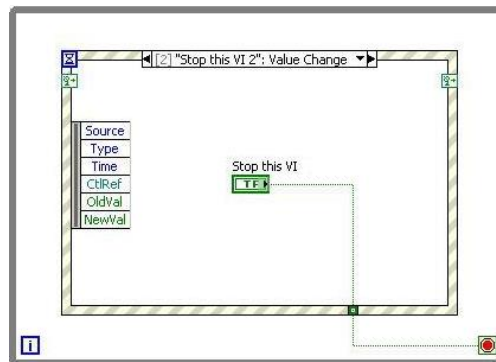
- Ciclo *While*: El Ciclo While ejecuta el código que contiene hasta la terminal condicional, una terminal de entrada recibe un valor Booleano específico. Es importante saber que el ciclo, siempre se ejecuta al menos una vez.



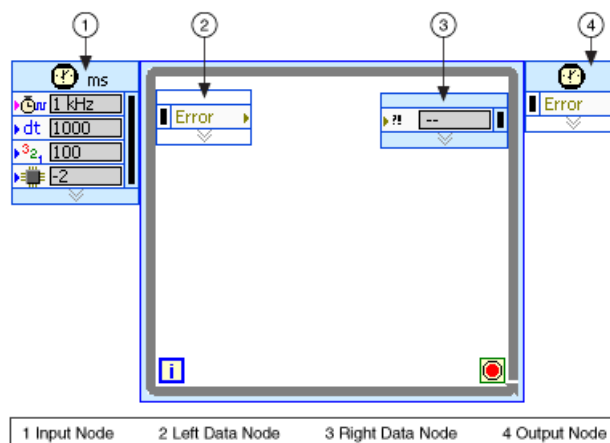
- Ciclo *Case*: Solamente un subdiagrama es visible a la vez y la estructura ejecuta solamente un caso a la vez. Un valor de entrada determinará cual subdiagrama se ejecuta.

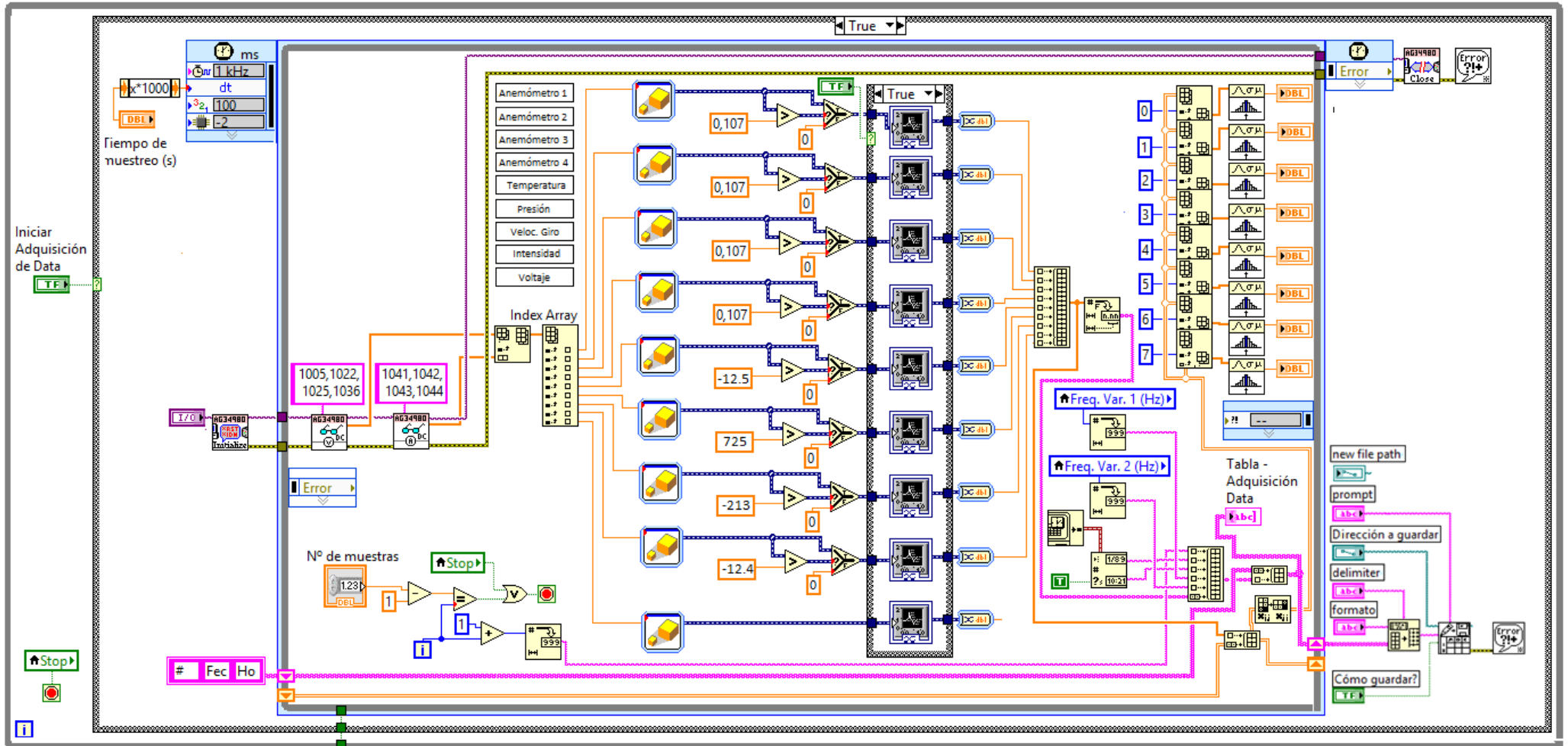


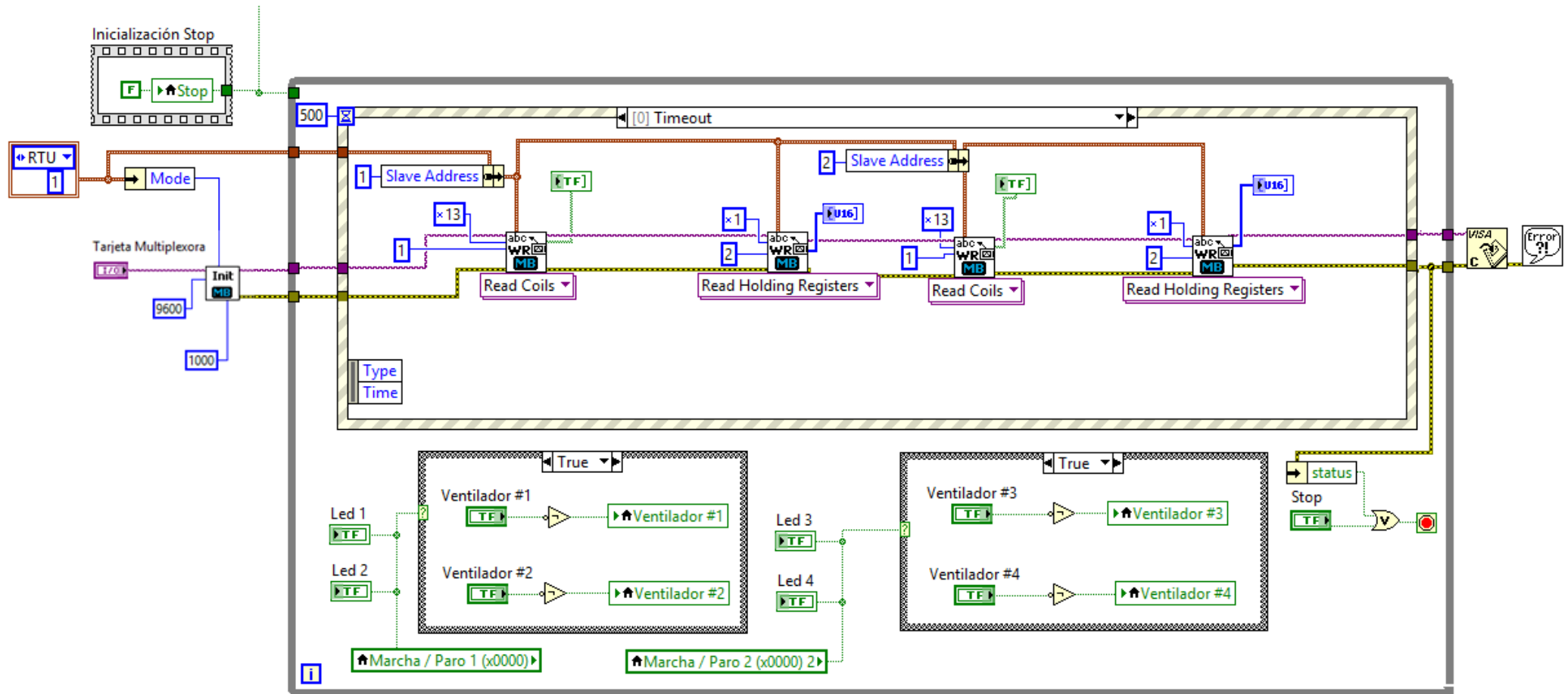
- Ciclo *event*: Al usar esta estructura se pueden crear varios diagramas, el código de su interior se ejecutará solamente cuando se cumplan las condiciones configuradas para cada uno de ellos.



- Ciclo *time*: No es más que un ciclo *While* temporizado, donde no solo queda definido por las iteraciones, sino que también lo puede definir un periodo de tiempo, entre otras funciones







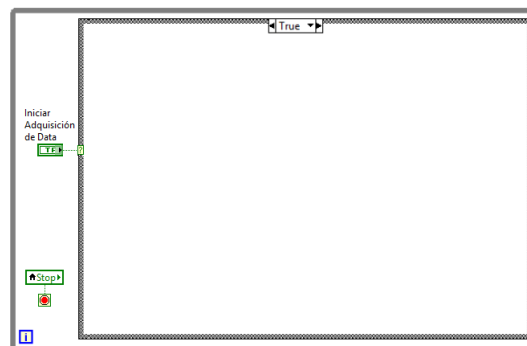


En primer lugar, el paso inicial de todo VI que contenga un *Ciclo While* consiste en la asignación de una variable local correspondiente al botón de “Paro” o “Stop” que se encuentra dentro del ciclo como podemos ver a continuación:

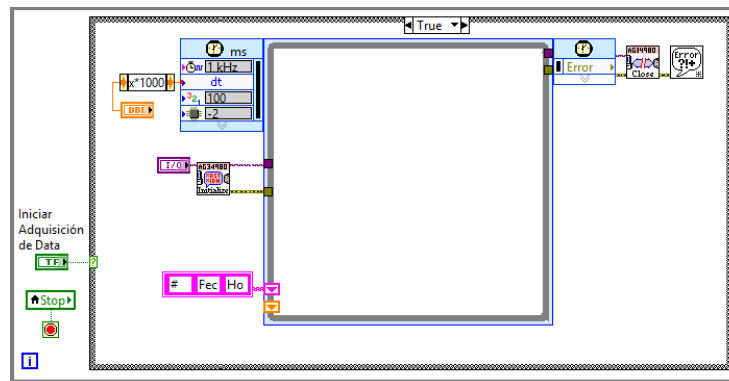


Importante remarcar que con una variable local, se puede escribir o leer desde un control o indicador en el panel frontal. Escribir en una variable local es similar a pasar datos a cualquier otro terminal.

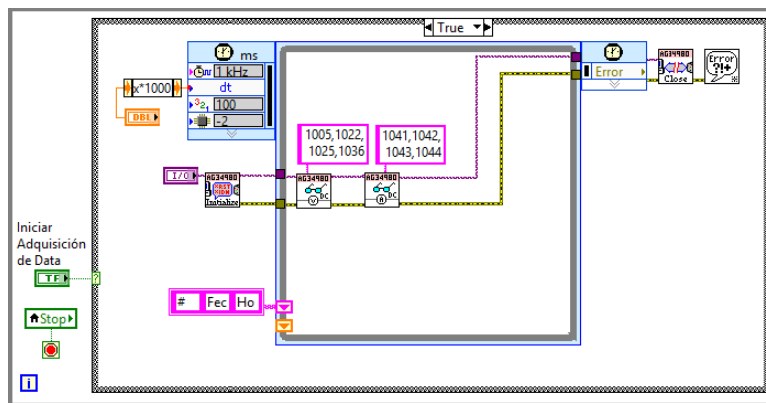
Posteriormente, incluiremos un *Ciclo Case* dentro del propio *Ciclo While*, junto con una variable que tendrá su reflejo en el panel frontal, y que sea la condición para ejecutar la adquisición de datos:



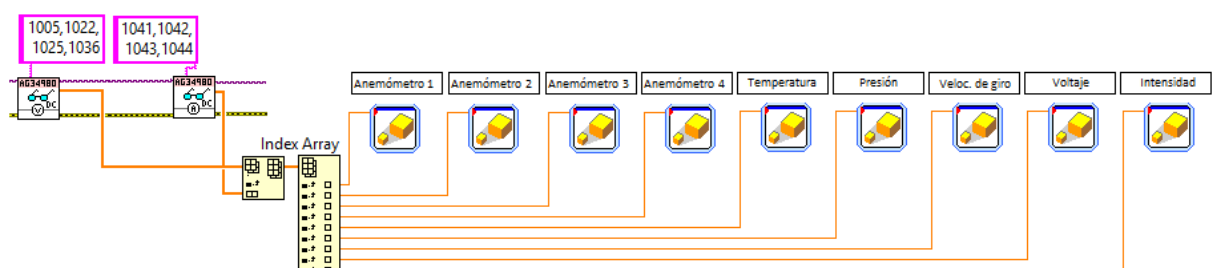
Dentro de dicho *Ciclo Case* incluiremos un *Ciclo Time* para inicializar la comunicación entre el PC y el *data logger* gracias a los bloques de *Initialize* y *close* que deberemos de escoger de la librería propia de nuestro *Agilent 34980* y que deberemos descargar de la pagina web de NI. A su vez, incluiremos una variable, como parámetro encargado de definir el tiempo correspondiente a la toma de muestras en segundos (Esta variable tendrá su reflejo en el panel frontal para poder ser modificada).



En el interior del *Time Loop* introduciremos los bloques encargados de realizar las lecturas, tanto para instrumentación cuyas salidas sean voltajes (Voltios) como para las que sean en intensidad (Amperios). Una vez hecho esto, definiremos en cada uno de estos bloques, las entradas de la tarjeta multiplexora encargada de aportar dicha lectura.



Introducidos los bloques encargados de realizar las lecturas, estas deben llegar a un bloque *Insert Into Array* para posteriormente ser agrupadas en un *Index Array*. Las salidas de este último bloque se hacen pasar por otros sub-VI's que convertirán las señales eléctricas provenientes de los canales de la tarjeta multiplexora a su respectiva magnitud física, principalmente por medio de la amplificación, para ello serán necesarias las ecuaciones de las rectas (Curvas de calibración) conseguidas en los apartados anteriores de esta memoria.



Para introducir la ecuación de la recta en el bloque de *Scaling* o amplificador, será necesario hacer doble click en él y una vez hecho esto, seleccionar la opción *Linear (Y=mX+b)* e introducir la ecuación correspondiente a dicho sensor hallada en el apartado 6.

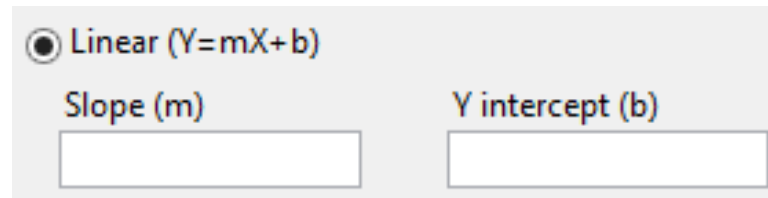
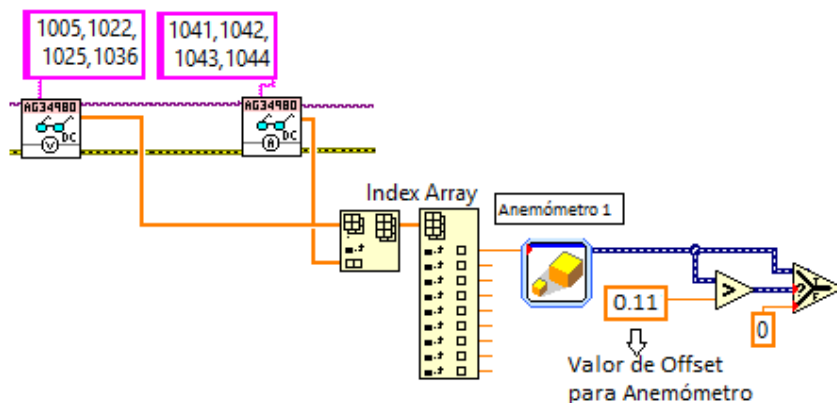


Ilustración 76. Selección de formato para bloque de escalado

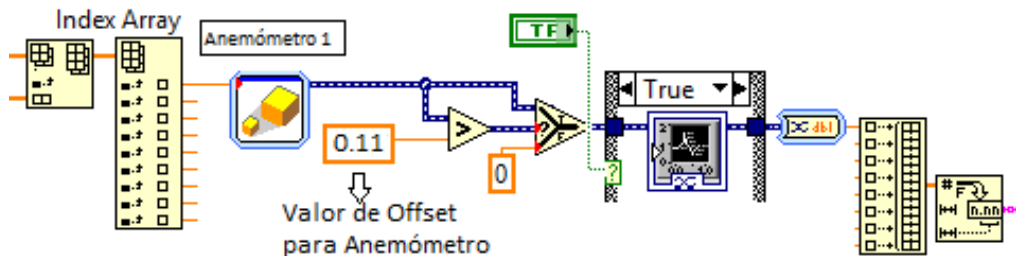
Posteriormente, a la salida de cada bloque *Scaling* introduciremos una serie de puertas lógicas encargadas de condicionar el valor de Offset de nuestro sensor, en el punto 6, también



podemos encontrar los diferentes valores de Offset de nuestros sensores. Este proceso se incluye dentro de nuestra programación, para poder comprobar de forma legible la correcta conexión de nuestra instrumentación, mostrándonos el valor de Offset, como el valor en reposo de nuestro sensor, siempre que este se encuentre correctamente conectado, en el caso contrario, si existiera algún inconveniente con las conexiones, el valor sería 0, y por lo tanto podríamos advertir de forma sencilla que existe algún problema.

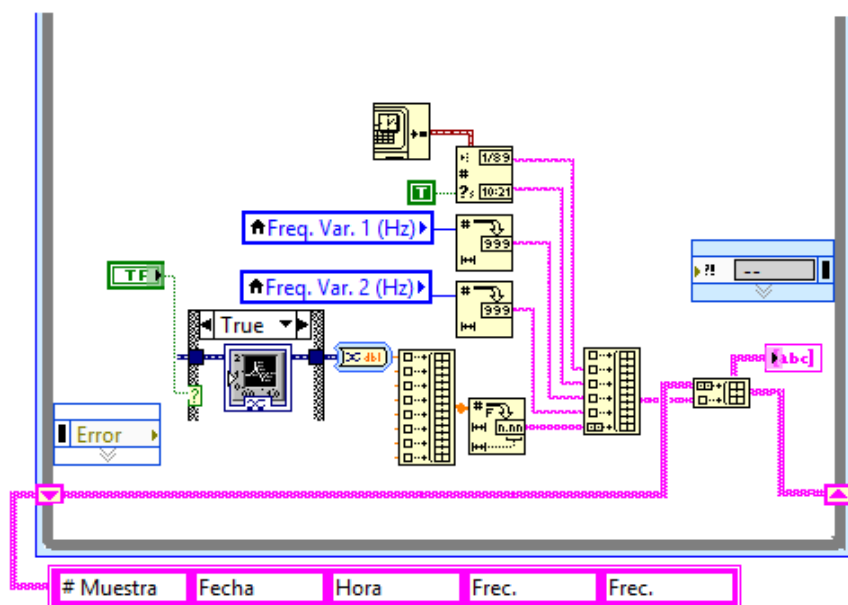
Puesto que para la buena realización de nuestro proyecto, consideramos esencial la existencia de gráficas de datos para la representación visual de los valores obtenidos por medio de la instrumentación, decidimos incluir una *Case Structure* cuya condición de ejecución sea mediante una variable local activable desde el panel frontal de nuestro programa LabVIEW. Dentro de esta estructura incluiremos los bloques encargados de graficar, y posteriormente

incluiremos un cambio de variable que devuelva nuestra señal a un número escalar. Una vez hecho esto, las haremos llegar hasta un *build array* y las organizaremos en un *array* pasando de escalar a string.



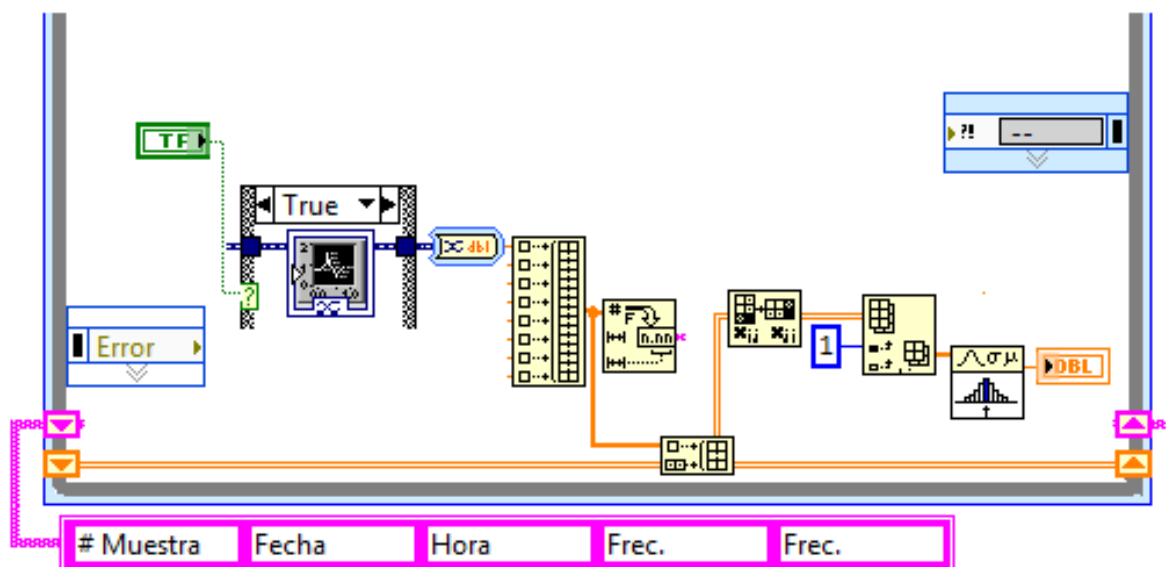
Con la salida en string obtenida del *array* crearemos una tabla, a la cual nos resulta interesante incluir el estado de los variadores, es decir, que se muestre la frecuencia a la que se encuentran en el momento que se recoge la salida de los sensores. Incluiremos por tanto un bloque de volcado de datos a tabla por variador, junto a su variable global, ya que, en este caso, la señal es externa a la programación LabVIEW.

Por otro lado, necesitaremos reflejar en la tabla de datos, el número de muestra al que se corresponden los valores obtenidos, así como la fecha y hora en la que se registran. Existe un bloque que es capaz de recopilar la hora y fecha del sistema operativo del ordenador para incluirla en la tabla de datos final, el procedimiento es el siguiente.

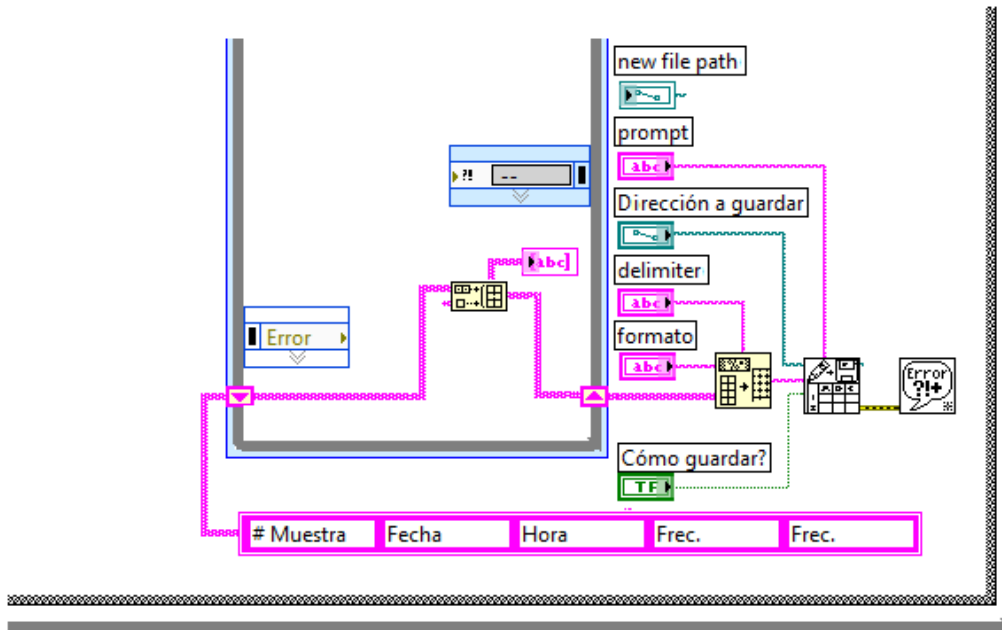


Destacar que la tabla creada con el bloque *build table* irá de la mano de su variable local representada en el panel frontal encargada de generar la tabla cuando pulsemos sobre dicho botón/variable de inicio, junto con su *shift registrer* que es el cuadro rosa donde incluiremos el # o número de muestra, la fecha, la hora y las frecuencias de los variadores, este *shif registrer* tendrá como función principal almacenar los valores recogidos.

Como nueva incorporación de nuestro programa LabVIEW, nos gustaría que de los datos recopilados por el *Data Logger* podamos ir sacando automáticamente la media, es decir, calcular la media aritmética a tiempo real de las diferentes muestras recogidas de un mismo sensor. Para que el programa pueda ir realizando dicha operación matemática debemos incluir un nuevo *Shif Register* (en color naranja) para almacenar los valores de las muestras y posteriormente realizar el cálculo.

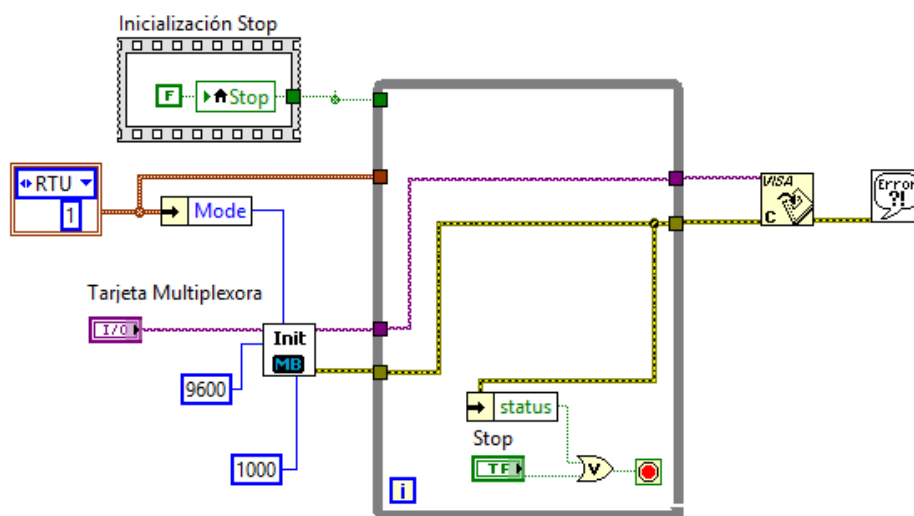


Una vez ya tenemos toda la estructura interna de nuestro *Time Loop*, es hora de proceder con las secuencias externas encargadas de la recopilación y guardado de los datos arrojados por la instrumentación, así como la finalización de nuestros procesos mediante el bloque de funciones *close* exclusivo de nuestra tarjeta multiplexora, adjunto a un *general error handler*. Para ello incluiremos los siguientes bloques cuya función es la escribir los datos en una ruta específica de nuestro PC, así como de asignar el formato de escritura.



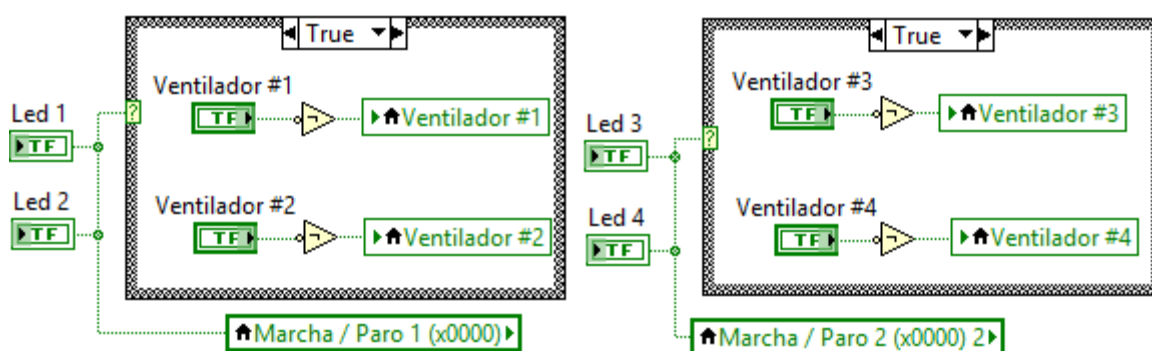
## 10.2 Diagrama de Bloques Control de Variadores

En el mismo diagrama de bloques o VI en el que hemos programad nuestra adquisición de datos, hemos incorporado también una sección encargado del control de los variadores de frecuencia encargados de generar las rachas de viento. Gracias a esta sección, tendremos la posibilidad obtener los diferentes potenciales eólicos en función de la propia frecuencia de programación. Lo más importante a destacar para la incorporación de este diagrama de control, es la creación de un modo de comunicación basado en MODBUS RTU, siendo este seleccionado a través del puerto serial de nuestro PC con una estructura basada en maestro/esclavo.



Necesitaremos la presencia del bloque *Init* de la librería MODBUS para inicializar la comunicación con un valor de tiempo de 10000ms y 9600 de transferencia de datos. Introduciremos un *While Loop*, para incorporar en su interior la estructura de lectura de bobinas y control de frecuencia.

Una vez hecho esto, crearemos en el interior del *While Loop* otros 3 ciclos más. Uno de ellos será el *Event Structure* y los otros serán *Case Structure* encargados de simular en nuestro panel frontal o VI el giro de los motores de forma visual.

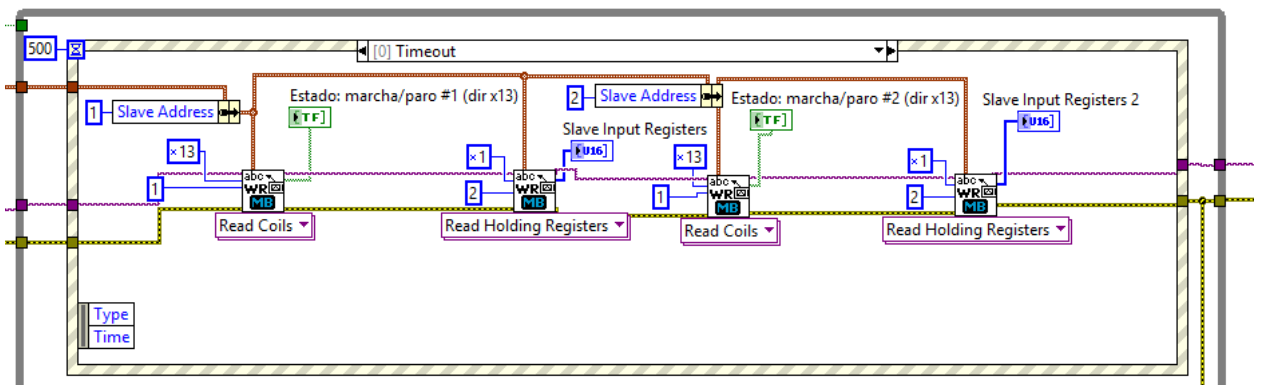


Volviendo al *Case Estructura*, hemos visto conveniente implementar 5 eventos dentro de su estructura ya que era la única forma de definir todos los eventos o situaciones posibles que se pueden dar durante la ejecución de un VI.

### Evento 0

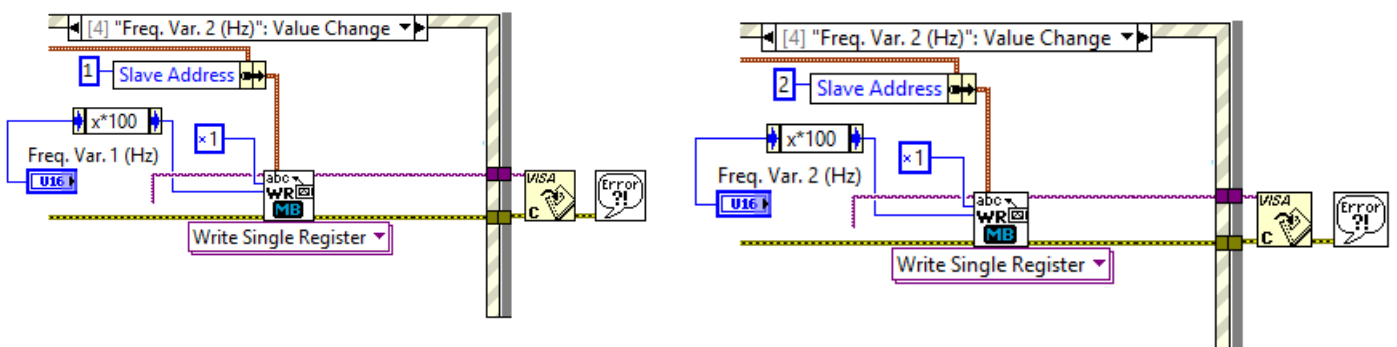
En este primer evento incluiremos los bloques denominados *Read Coils* de la librería de Modbus, que tendrán la función en primer lugar de leer y determinar la asignación otorgada a los variadores de frecuencia como en puntos anteriores hemos podido enseñar, y en el caso de que encuentre la dirección asignada y coincida con la que le hemos incluida al bloque, entonces enviará la acción a ejecutar al bloque de escritura que veremos más adelante, en este caso hablamos de la instrucción (x13) correspondiente con el comando de operación *0013h* de las operaciones que incluye la bobina, en este caso será su puesta en marcha o activación. Esta operación se realizará con las direcciones #1 y #2, por lo que deberemos incluir dos bloques similares en serie.

De la misma forma, para leer y escribir el resto de las operaciones que se plantearon controlar en nuestros variadores de frecuencia, como es el comando de cambio de sentido, incluiremos dos bloques Read Holding Registers encargados de la lectura de la instrucción 0001h (x1). Estas dos opciones de ejecución son elegidas por el usuario desde el panel frontal, para ambos variadores. Para finalizar la sesión de los variadores, introduciremos un bloque *Visa Close* acompañado en serie de un *Simple Error Handler* situados ya fuera del *Event Structure* y del *While Loop*.



### Eventos 1 y 4

Como podemos apreciar en las siguientes imágenes, pasamos de las funciones encargadas de realizar las lecturas, a las encargadas de ejecutar los comandos o escrituras. Los eventos 1 y 4 están compuesto por un bloque cada uno de ellos *Write Single Register* cuya función se basa en trasladar la frecuencia seleccionada por nosotros en el panel frontal del VI (Ya sea mediante el potenciómetro vertical o por introducción de la frecuencia exacta en el cuadro de escritura situado justo debajo) a los variadores de frecuencia administradores del flujo de viento. Esto nos permite modificar en tiempo real el valor de la velocidad del viento, junto a su correspondiente velocidad de giro en el aerogenerador.

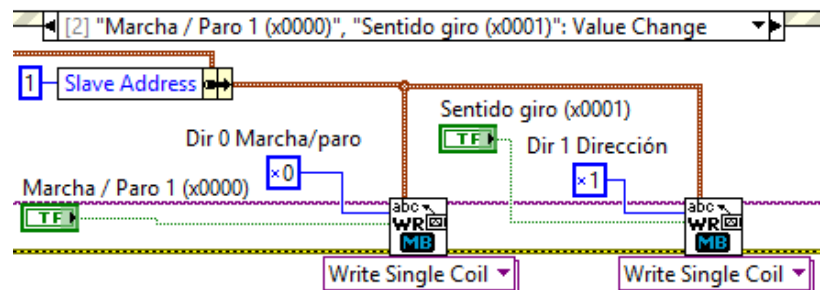
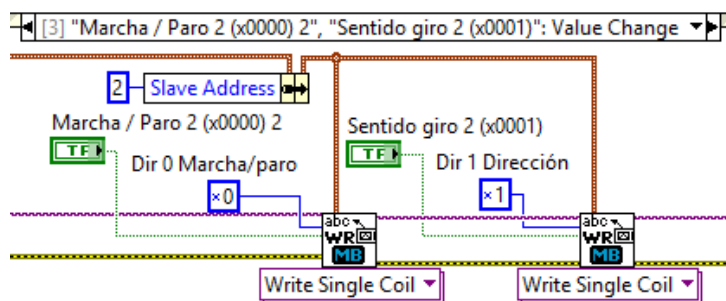




### Eventos 2 y 3

Al igual que los eventos 1 y 4 de escritura expuestos encima, los eventos 2 y 3 irán de la mano a lo que escritura se refiere. En este caso hablamos del comando Marcha/Paro de nuestras bobinas, gracias al envío de una señal de arranque y parada de los variadores de frecuencia, y del comando de cambio de sentido de los motores asíncronos de manera individual. Estos estarán representados mediante dos botones/interruptores en nuestro panel frontal del VI.

Las instrucciones afectadas en estos eventos 2 y 3 son la  $0000h$  ( $x0$ ) en el caso de la puesta en marcha, y la  $0001h$  ( $x1$ ) en el caso del cambio de sentido.



### 10.3 Ventana Frontales

Como ya hemos introducido, la ventana frontal es la interfaz de usuario para el control del VI una vez ejecutado, y aquí podemos incluir diferentes elementos de interacción relacionados con el control, adquisición y visionado de los datos a tiempo real de nuestro aerogenerador.

Cuando iniciamos nuestro VI, lo primero que nos podemos encontrar en la parte superior de nuestra pantalla de comandos, es un encabezado fijado establecido y 3 pestañas variables en la parte inferior, en cada pestaña se representa un aspecto crucial de nuestro programa de LabVIEW, que son:

- Control del potencial eólico (Variadores de frecuencia)
- Adquisición de valores provenientes de la instrumentación.
- Representación gráfica de los distintos valores recogidos.



*Ilustración 77. Ventana frontal. Definición de parámetros*

Como podemos apreciar en el encabezado, aquí encontramos los campos de selección/introducción de las siguientes variables necesarios para nuestro control y/o adquisición.

- Puerto Modbus → Puerto de Read/Write PC-Variadores de frecuencia para el control del potencial eólico.
- Puerto USB *Data logger* → Puerto de entrada del *Data logger* para la adquisición de datos.
- Dirección a Guardar → Lugar de almacenamiento de los datos adquiridos.
- Nº de Muestras → Cantidad de valores recogidos provenientes de la instrumentación.
- Tiempo de muestreo → Tiempo transcurrido entre muestras.

Un poco más abajo vemos las 3 pestañas que hemos comentado y por las cuales se puede ir desplazando el personal investigador en función de las necesidades de muestreo y control.

La primera de las pestañas personalizables que podemos encontrar nada más iniciar nuestro proyecto de LabVIEW es la pestaña del control del potencial eólico.

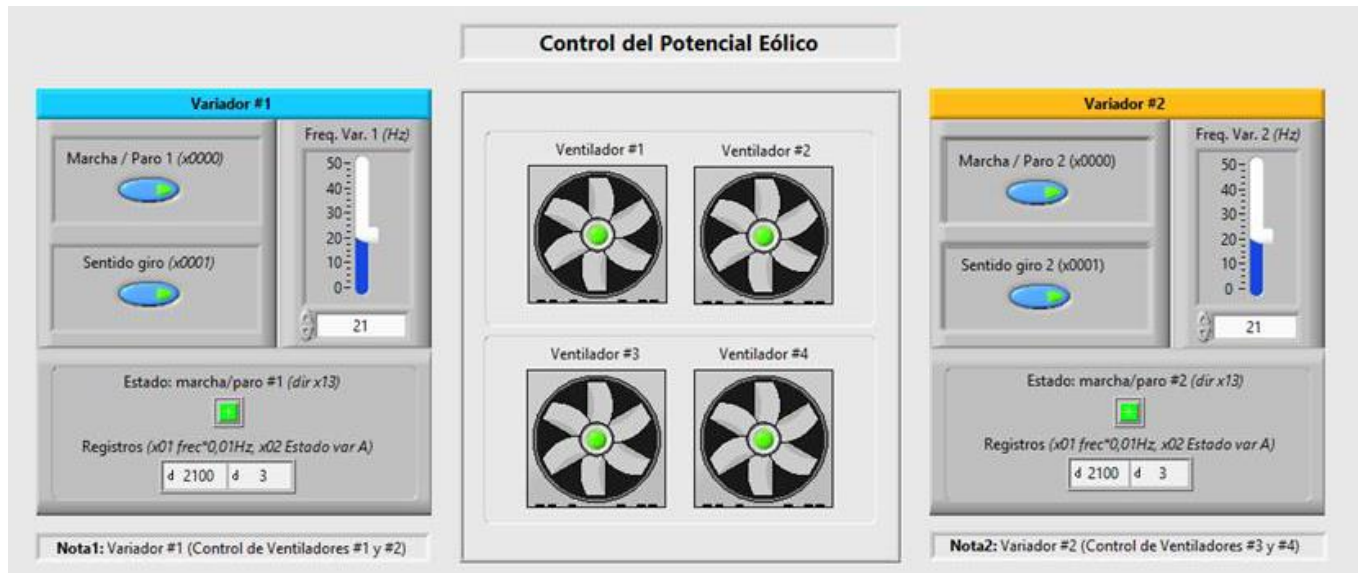


Ilustración 78. Ventana frontal. Control de potencial eólico

En esta imagen encontramos 3 bloques claramente diferenciados, bloque izquierdo o comandos de control del variador de frecuencia #1, bloque central o scada a tiempo real de la situación en la que se encuentran los motores asíncronos accionado por los variadores de frecuencia, y bloque derecho o parámetros de control correspondientes al variador de frecuencia #2 que los parámetros o variables que puede controlar el usuario radican en:

- Botones alternables ON/OFF para la puesta en marcha y sentido de giro de cada uno de los variadores de frecuencia por separado.
- Potenciómetro de frecuencia de entrada a cada variador de frecuencia individual accionado mecánicamente mediante el desplazamiento de la barra.
- Campo de lectura para la introducción del valor de frecuencia concreto de cada variador, ya que con el potenciómetro no conseguiríamos tal certeza.
- Led y direcciones de estado de control del variador de frecuencia.

La segunda pestaña personalizada que encontramos en nuestro VI, es la encargada de la representación de los datos adquiridos por nuestro programa. Dicha representación, como es obvio, viene determinada por la recopilación primaria de los datos, que se mostrarán en la hoja de adquisición, aunque no quiere decir que una dependa de la otra, ya que, al ser independiente, el único factor necesario para las lecturas es el control del potencial eólico.

En nuestra ventana de representación de datos encontramos únicamente un botón de activación para comenzar a graficar los datos que están siendo adquiridos en tiempo real, así como las gráficas correspondientes a cada uno de los sensores encargados de la recogida de datos como podemos ver en la siguiente imagen.

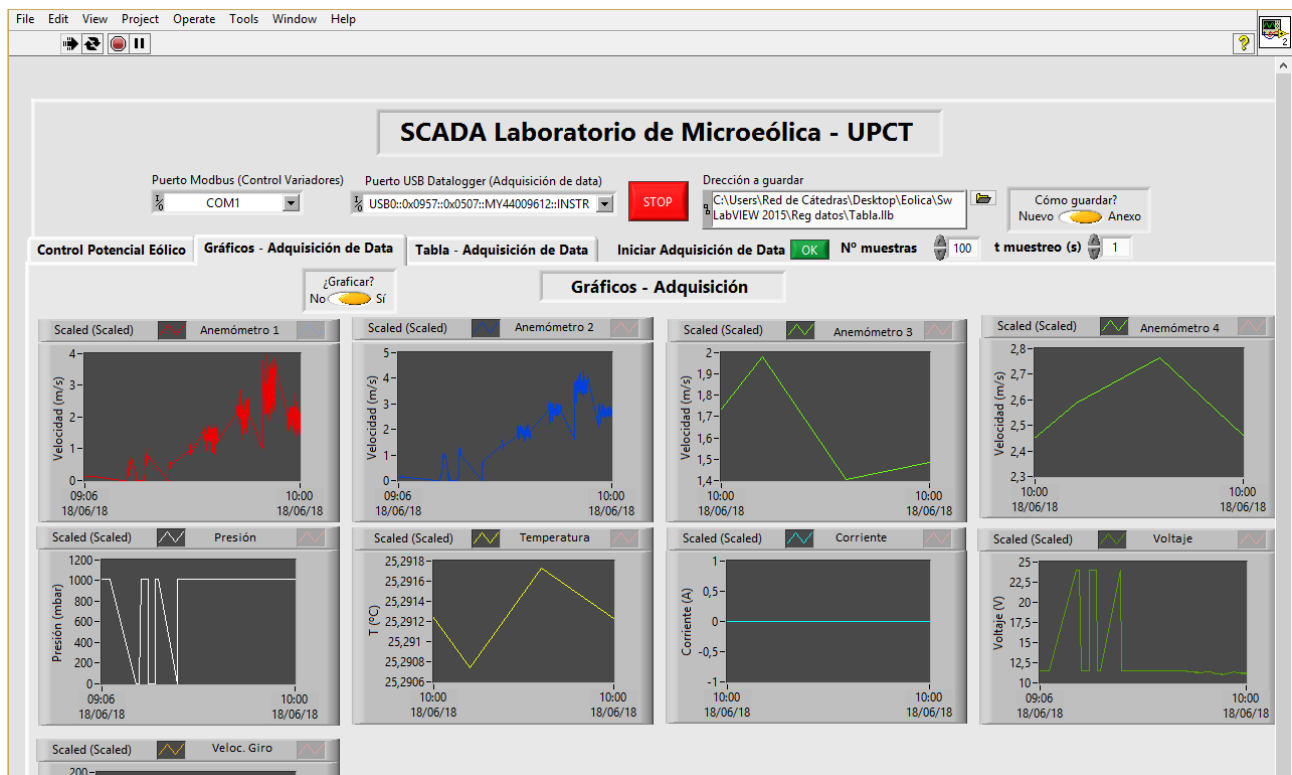


Ilustración 79. Ventana frontal. Representación de datos

Por último, en nuestra ventana frontal tenemos la pestaña destinada al registro de las muestras tomadas por nuestros sensores repartidos por el banco de ensayos, donde se sitúa una tabla de representación de muestras donde quedan recogidos todos los valores recepcionados por el *Data Logger*, incluyendo también los campos referenciales como son fecha, hora y potencial eólico.

### SCADA Laboratorio de Microeólica - UPCT

Puerto Modbus (Control Variadores)

Puerto USB Datalogger (Adquisición de data)

Dirección a guardar

Control Potencial Eólico

Gráficos - Adquisición de Data

Tabla - Adquisición de Data

Iniciar Adquisición de Data

Nº muestras

t muestreo (s)

**Tabla - Adquisición Data**

21	18/06/2018	21:45:06	40	40	2,381317	2,622408	1,688815	11,414231	0,000000	157,455608	24,974381	1018,242631	1,120236
22	18/06/2018	21:45:08	40	40	2,083933	2,744675	1,872401	11,407440	0,000000	156,707238	24,974875	1018,319619	1,947617
23	18/06/2018	21:45:10	40	40	2,225970	2,773834	1,326884	11,413285	0,000000	158,074110	24,974875	1018,292975	2,157311
24	18/06/2018	21:45:12	40	40	2,131243	2,775420	1,367399	11,408964	0,000000	157,639164	24,973394	1018,337394	2,014455
25	18/06/2018	21:45:14	40	40	2,105755	2,607000	1,255180	11,393358	0,000000	157,457059	24,974875	1018,319619	2,556024
26	18/06/2018	21:45:16	40	40	1,768620	2,586506	1,397782	11,420809	0,000000	157,478460	24,974875	1018,328506	2,871774
27	18/06/2018	21:45:18	40	40	2,452839	2,509930	1,249951	11,399454	0,000000	157,002885	24,974381	1018,399569	2,178700
28	18/06/2018	21:45:20	40	40	2,575476	2,341478	0,923973	11,386915	0,000000	157,809297	24,974875	1018,473612	1,902526
29	18/06/2018	21:45:22	40	40	2,340536	2,708873	1,428606	11,399647	0,000000	157,213286	24,974875	1018,364037	2,027235
30	18/06/2018	21:45:24	40	40	2,131195	2,816074	1,300478	11,389519	0,000000	157,451980	24,974381	1018,369962	2,178012
31	18/06/2018	21:45:26	40	40	2,340393	3,010062	1,533739	11,373971	0,000000	158,634215	24,974381	1018,304806	2,356823
32	18/06/2018	21:45:28	40	40	1,973185	2,882578	1,703790	11,366505	0,000000	158,444856	24,973394	1018,236706	2,183003
33	18/06/2018	21:45:30	40	40	2,559849	2,897747	1,030407	11,374492	0,000000	158,601203	24,974381	1018,215969	1,570055
34	18/06/2018	21:45:32	40	40	2,407163	2,968927	1,408224	11,375206	0,000000	158,214504	24,973887	1018,183400	1,840456
35	18/06/2018	21:45:34	40	40	2,867213	2,974236	1,714164	11,371752	0,000000	157,573142	24,974875	1018,047181	1,769002
36	18/06/2018	21:45:36	40	40	2,561455	2,691930	1,138129	11,385565	0,000000	159,605061	25,034594	1018,050144	1,723004
37	18/06/2018	21:45:38	40	40	2,590844	2,882800	1,704052	11,372293	0,000000	158,166984	25,034594	1018,035331	1,809802
38	18/06/2018	21:45:40	40	40	2,820500	2,984602	1,607142	11,367123	0,000000	157,802040	25,034100	1017,964269	1,432049
39	18/06/2018	21:45:42	40	40	2,207771	2,841717	1,479837	11,364075	0,000000	155,778215	25,034100	1017,913925	1,763645
40	18/06/2018	21:45:44	40	40	1,824805	2,831470	1,653414	11,355510	0,000000	156,381482	25,034100	1017,925775	2,029302
41	18/06/2018	21:45:46	40	40	1,717504	2,816030	1,301233	11,352114	0,000000	156,807359	25,033606	1017,937625	2,264087

**Valores Medios**

1,62715	2,12119	0,877312	11,6548	0	70,3545	24,5561	1000,34	1,47445
---------	---------	----------	---------	---	---------	---------	---------	---------

Ilustración 80. Ventana frontal. Adquisición de datos

Debido a la gran cantidad de valores y parámetros que podemos recopilar, hemos considerado interesante la inclusión de campos en el panel frontal, parte inferior, que representen una media aritmética real de los datos, de esta forma conseguiremos una percepción más rápida del funcionamiento de nuestros sensores sin necesidad de tener que realizar un estudio individual dato por dato. Estos valores están definidos para cada sensor por separado como es lógico.

## 11. Adquisición de Datos

Para finalizar nuestro proyecto, una vez ya hemos realizado todas las conexiones pertinentes en nuestro banco de ensayos (Cuadros de conexiones, PC, *Data Logger*, aerogenerador, baterías, regulador de carga e inversor), hemos configurado el programa de adquisición y representación de datos y hemos calibrado la instrumentación, es hora de proceder con la realización de ensayos y corroborar el correcto funcionamiento de nuestro sistema.

### 11.1 Parámetros de Ensayo

Una vez hemos decidido que vamos a realizar pruebas experimentales con nuestro banco de ensayos, es conveniente definir previamente los parámetros de ensayo que van a delimitar el comportamiento de nuestro sistema. Los valores que se han considerado de vital importancia a la hora de proceder con las pruebas son:

- Tiempo entre muestras: Hemos creído que un valor entre muestras de 2 segundos es suficiente para definir el comportamiento de nuestro sistema con un alto porcentaje de fiabilidad, no se ha barajado la posibilidad de disminuirlo, ya que esto solo implicaría un mayor volumen de manejo de datos innecesarios.
- Número de Muestras totales: Valor definido en 100 muestras para todos los casos, ya que mediante un estudio previo, hemos podido percatarnos que bajo cualquier situación a la que se someta nuestro banco de ensayos, comienza a tener un comportamiento estable a partir de la muestra 80, siempre y cuando se respete el valor de tiempo entre muestras definido anteriormente.
- El tiempo de ensayo por hende, se puede calcular multiplicando los dos valores definidos con anterioridad, tiempo entre muestras y número total de muestras a recopilar.

$$\textit{Tiempo de Ensayo} = \textit{Tiempo entre Muestras} \cdot \textit{Número Total de Muestras}$$

$$\textit{Tiempo de Ensayo} = 2 \cdot 100$$

$$\textit{Tiempo de Ensayo} = 200 \textit{ segundos}$$

- Potencial eólico: Este parámetro será el único valor variable en los diferentes ensayos a realizar, quedando definido en 10Hz, 20Hz, 30Hz, 40Hz y 50Hz.

## 11.2 Ensayos

### Potencial Eólico: 10 Hercios

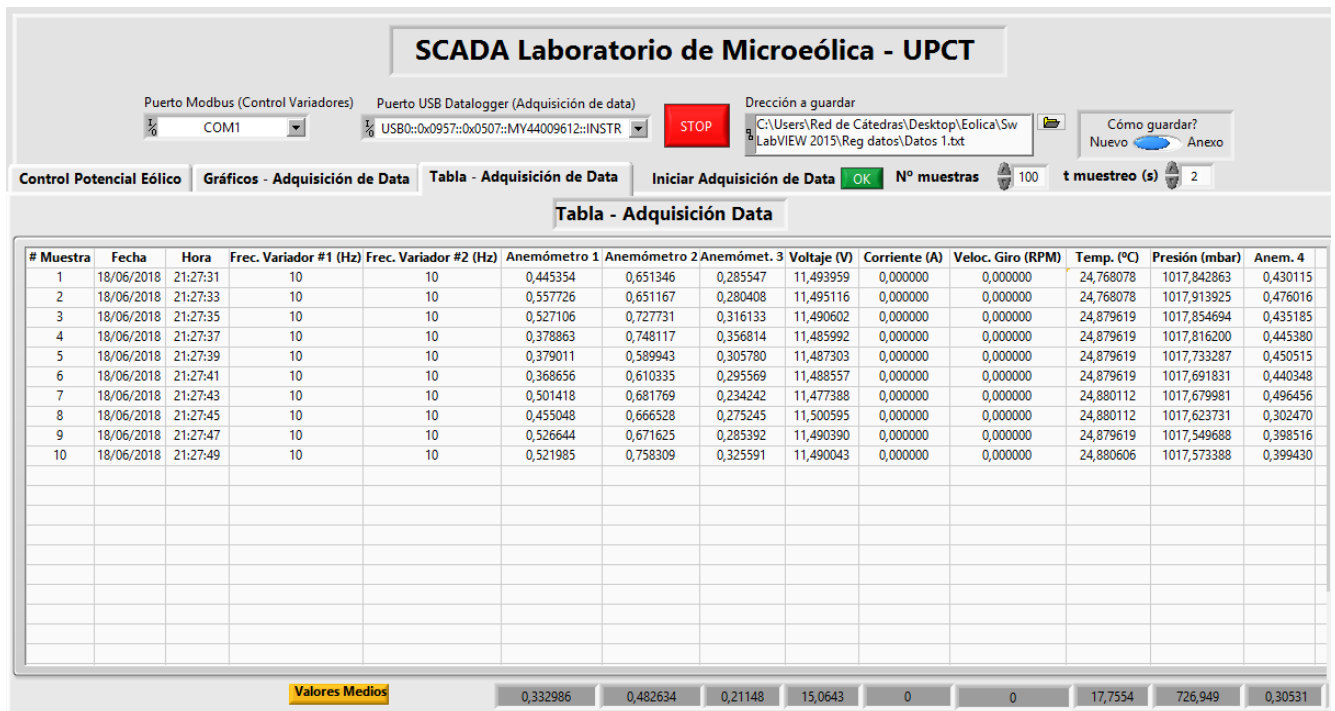
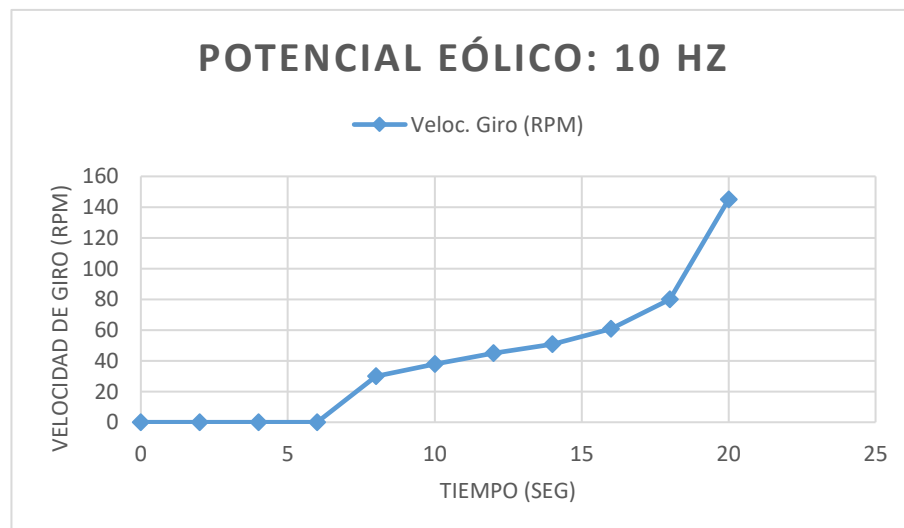


Ilustración 81. Ventana frontal. Adquisición de datos para  $f=10\text{Hz}$

Nota: Decidimos no continuar con el ensayo a tal frecuencia, ya que no preveía ninguna modificación para las 90 muestras restantes, ya que los motores asíncronos no eran capaces a esta frecuencia de vencer el principio de inercia de nuestro aerogenerador.



Potencial Eólico: 20 Hercios

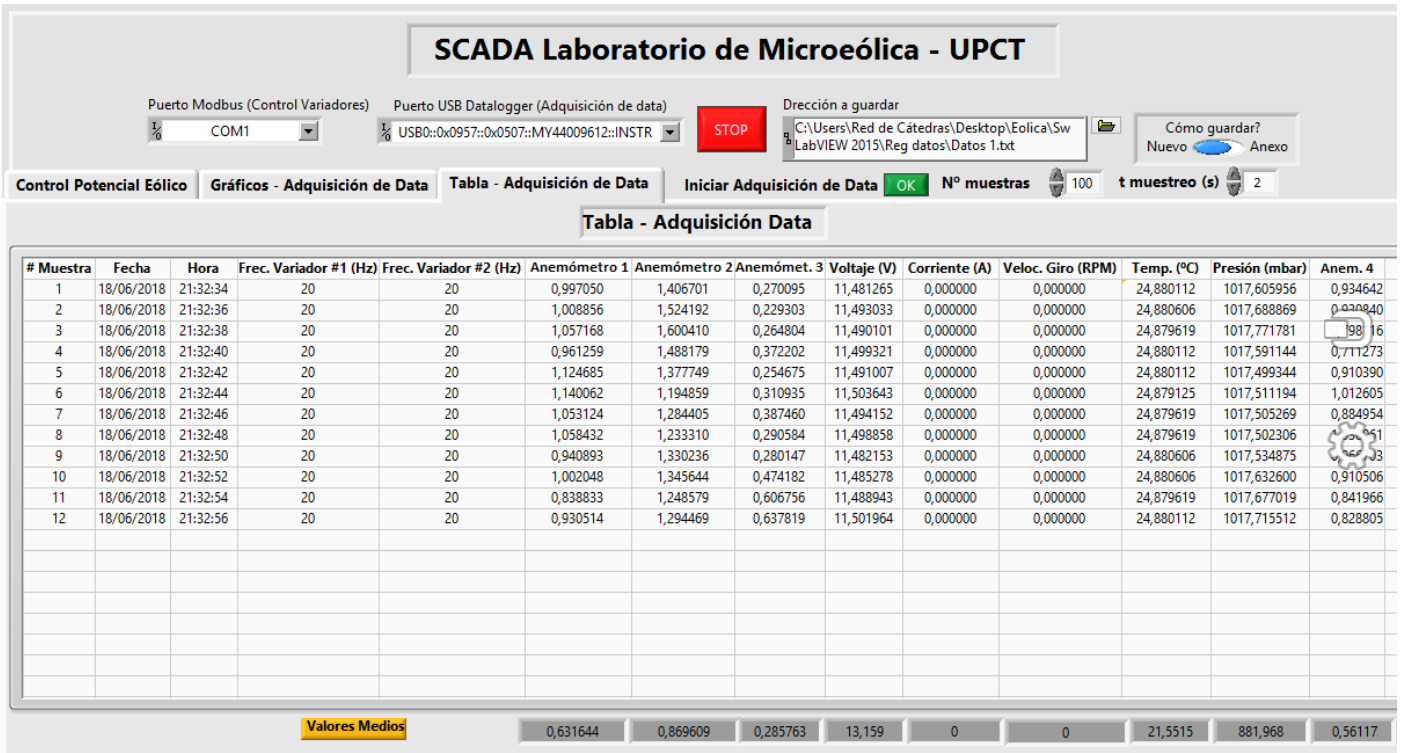
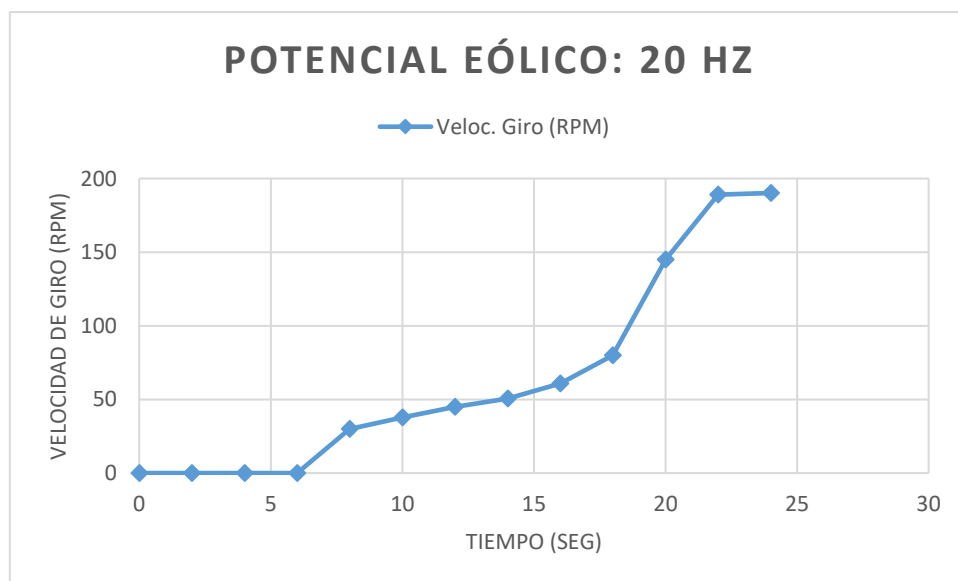


Ilustración 82. Ventana frontal. Adquisición de datos para  $f=20\text{Hz}$

Nota: Decidimos no continuar con el ensayo a tal frecuencia, ya que no preveía ninguna modificación para las 88 muestras restantes, ya que los motores asíncronos no eran capaces a esta frecuencia de vencer el principio de inercia de nuestro aerogenerador.





## Potencial Eólico: 30 Hercios

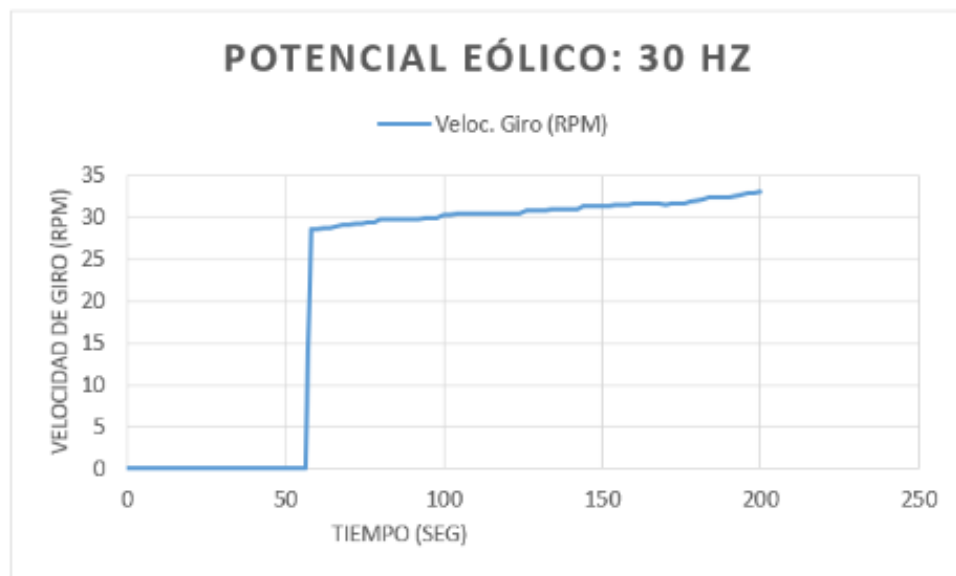
SCADA Laboratorio de Microeólica - UPCT													
Puerto Modbus (Control Variadores)		Puerto USB Datalogger (Adquisición de data)		Dirección a guardar		CÓMO GUARDAR?							
COM1		USB0::0x0957::0x0507::MY44009612::INSTR		C:\Users\Red de Cátedras\Desktop\Eolica\Sw LabVIEW 2015.Reg datos\Datos 1.txt		Nuevo Anexo							
Control Potencial Eólico		Gráficos - Adquisición de Data		Tabla - Adquisición de Data		Iniciar Adquisición de Data		Nº muestras		t muestreo (s)			
						OK		100		2			
Tabla - Adquisición Data													
# Muestra	Fecha	Hora	Frec. Variador #1 (Hz)	Frec. Variador #2 (Hz)	Anemómetro 1	Anemómetro 2	Anemómet. 3	Voltaje (V)	Corriente (A)	Veloc. Giro (RPM)	Temp. (°C)	Presión (mbar)	Anem. 4
1	18/06/2018	21:36:24	30	30	1,610065	1,917528	0,407680	11,505224	0,000000	0,000000	24,930456	1017,987950	1,260134
2	18/06/2018	21:36:26	30	30	1,370146	2,121386	0,601865	11,496177	0,000000	0,000000	24,930947	1018,017575	1,298915
3	18/06/2018	21:36:28	30	30	1,482485	2,050659	0,841549	11,500170	0,000000	0,000000	24,931441	1017,925775	1,120228
4	18/06/2018	21:36:30	30	30	1,558794	1,715711	0,841759	11,490390	0,000000	0,000000	24,931441	1017,884319	1,099678
5	18/06/2018	21:36:32	30	30	1,487547	1,893846	0,525254	11,489117	0,000000	0,000000	24,931934	1017,816200	1,390863
6	18/06/2018	21:36:34	30	30	1,640714	2,070636	0,668210	11,496891	0,000000	0,000000	24,930947	1017,736250	1,288672
7	18/06/2018	21:36:36	30	30	1,335052	1,953204	0,489563	11,500826	0,000000	0,000000	24,931934	1017,703681	1,314228
8	18/06/2018	21:36:38	30	30	1,484864	1,922642	0,683272	11,478912	0,000000	0,000000	24,930456	1017,677019	1,283702
9	18/06/2018	21:36:40	30	30	1,175928	2,111341	0,913090	11,492029	0,000000	0,000000	24,930456	1017,727363	1,467439
10	18/06/2018	21:36:42	30	30	1,216848	1,851116	0,566447	11,489618	0,000000	0,000000	24,930456	1017,715512	1,615647
11	18/06/2018	21:36:44	30	30	1,584469	1,845987	0,627309	11,499186	0,000000	0,000000	24,930947	1017,774744	1,573689
12	18/06/2018	21:36:46	30	30	1,298617	1,830702	0,902418	11,494364	0,000000	0,000000	24,931934	1017,893206	1,610554
13	18/06/2018	21:36:48	30	30	1,231970	1,657339	0,861975	11,495020	0,000000	0,000000	24,930947	1018,002763	1,513623
14	18/06/2018	21:36:50	30	30	1,283197	1,616375	0,744710	11,491605	0,000000	0,000000	24,930947	1017,990912	1,508387
15	18/06/2018	21:36:52	30	30	0,946117	1,845804	0,617090	11,473009	0,000000	0,000000	24,930947	1018,005725	1,329588
16	18/06/2018	21:36:54	30	30	1,364711	1,703233	0,469214	11,479568	0,000000	0,000000	24,931934	1018,011650	1,441883
17	18/06/2018	21:36:56	30	30	1,415926	1,881519	0,729389	11,497334	0,000000	0,000000	24,931441	1018,014612	1,273232
18	18/06/2018	21:36:58	30	30	1,461597	1,997436	0,877379	11,489252	0,000000	0,000000	24,931441	1018,100487	1,084449
19	18/06/2018	21:37:00	30	30	1,359609	1,861884	0,816001	11,484911	0,000000	0,000000	24,931934	1018,103450	1,130367
20	18/06/2018	21:37:02	30	30	0,993296	1,662341	0,673188	11,480590	0,000000	0,000000	24,932428	1018,168588	1,242583
21	18/06/2018	21:37:04	30	30	1,490104	1,988867	0,560882	11,489965	0,000000	0,000000	24,930947	1018,174512	1,334606
22	18/06/2018	21:37:06	30	30	1,655860	2,055200	0,438593	11,490197	0,000000	0,000000	24,932428	1018,254463	1,574564
23	18/06/2018	21:37:08	30	30	1,247501	2,167650	0,458994	11,491740	0,000000	0,000000	24,931441	1018,292975	1,171363
24	18/06/2018	21:37:10	30	30	1,722200	2,131776	0,555848	11,494287	0,000000	0,000000	24,974381	1018,307769	1,191594
25	18/06/2018	21:37:12	30	30	0,981900	1,958345	0,555943	11,499071	0,000000	0,000000	24,973887	1018,328506	1,356758
26	18/06/2018	21:37:14	30	30	1,415977	1,907254	0,698143	11,484275	0,000000	0,000000	24,974875	1018,335150	1,482843
27	18/06/2018	21:37:16	30	30	1,707019	1,912339	0,788942	11,486358	0,000000	0,000000	24,974381	1018,334431	1,661590
28	18/06/2018	21:37:18	30	30	1,640746	1,881742	0,603551	11,508137	0,000000	0,000000	24,973887	1018,301844	1,641207
29	18/06/2018	21:37:20	30	30	1,344599	1,942965	0,593921	11,499592	0,000000	28,593537	24,974381	1018,287050	1,375550
30	18/06/2018	21:37:22	30	30	1,589463	1,703178	0,800716	11,495907	0,000000	28,594262	24,974381	1018,322581	1,447096
31	18/06/2018	21:37:24	30	30	1,711906	1,718184	0,586605	11,498665	0,000000	28,756417	24,931441	1018,284087	1,518451
32	18/06/2018	21:37:26	30	30	1,273125	1,755347	0,688552	11,498665	0,000000	28,808652	24,931441	1018,227819	1,523644
33	18/06/2018	21:37:28	30	30	1,257076	1,835048	0,601972	11,487188	0,000000	28,809742	24,931934	1018,183400	1,287877
34	18/06/2018	21:37:30	30	30	1,285630	2,085865	0,515027	11,484969	0,000000	29,049160	24,931441	1018,127131	1,211830
35	18/06/2018	21:37:32	30	30	1,346300	1,820530	0,397756	11,491046	0,000000	29,053514	24,931934	1018,109375	1,385503
36	18/06/2018	21:37:34	30	30	1,487356	1,774521	0,683260	11,494943	0,000000	29,192814	24,931441	1018,029406	1,350042
37	18/06/2018	21:37:36	30	30	1,564015	1,784688	0,617237	11,477156	0,000000	29,227638	24,931934	1017,996837	1,355072
38	18/06/2018	21:37:38	30	30	1,426161	1,871447	0,535269	11,482539	0,000000	29,227275	24,930947	1018,005725	1,395953
39	18/06/2018	21:37:40	30	30	1,395364	2,075527	0,571004	11,493129	0,000000	29,472499	24,930947	1017,999800	1,177339
40	18/06/2018	21:37:42	30	30	1,487443	1,800009	0,550827	11,491296	0,000000	29,471050	24,931934	1017,955381	1,167415
41	18/06/2018	21:37:44	30	30	1,630447	1,830730	0,601819	11,496891	0,000000	29,781207	24,974381	1017,916888	1,155828
42	18/06/2018	21:37:46	30	30	1,410840	1,912395	0,666699	11,501675	0,000000	29,783383	24,973394	1017,866544	1,334550
43	18/06/2018	21:37:48	30	30	1,563928	1,973467	0,609226	11,492559	0,000000	29,816758	24,973394	1017,751062	1,150722
44	18/06/2018	21:37:50	30	30	1,390565	1,933044	0,790688	11,499977	0,000000	29,820385	24,974381	1017,684794	1,166063
45	18/06/2018	21:37:52	30	30	1,298720	1,943088	0,729258	11,492165	0,000000	29,832357	24,973887	1017,700719	1,125079
46	18/06/2018	21:37:54	30	30	1,630352	1,957431	0,464051	11,491470	0,000000	29,893661	24,974381	1017,677019	1,375435
47	18/06/2018	21:37:56	30	30	1,446519	1,710522	0,581327	11,499784	0,000000	29,890034	24,974381	1017,756987	1,283435
48	18/06/2018	21:37:58	30	30	1,299324	1,764337	0,612064	11,478160	0,000000	30,067060	24,973887	1017,768819	1,385614
49	18/06/2018	21:38:00	30	30	1,390326	1,754114	0,509931	11,477021	0,000000	30,067060	24,973887	1017,816200	1,145537
50	18/06/2018	21:38:02	30	30	1,288231	1,932786	1,004859	11,490621	0,000000	30,271654	24,973394	1017,890244	1,089232
51	18/06/2018	21:38:04	30	30	1,155442	1,759244	0,821452	11,494460	0,000000	30,275645	24,974381	1017,990912	1,492732
52	18/06/2018	21:38:06	30	30	1,349442	1,662202	0,571428	11,504356	0,000000	30,480609	24,974381	1017,982044	1,385753
53	18/06/2018	21:38:08	30	30	1,181002	1,544766	0,576322	11,475382	0,000000	30,486775	24,973887	1018,026462	1,498907
54	18/06/2018	21:38:10	30	30	1,589444	1,636567	0,683332	11,492280	0,000000	30,552434	24,974381	1018,032369	1,472504
55	18/06/2018	21:38:12	30	30	1,293225	1,728443	0,952118	11,498801	0,000000	30,553885	24,973887	1018,029406	1,166055
56	18/06/2018	21:38:14	30	30	1,298414	1,901894	0,916005	11,491798	0,000000	30,495118	24,973887	1018,070881	0,961780
57	18/06/2018	21:38:16	30	30	1,482318	1,947808	0,989722	11,481111	0,000000	30,486049	24,974381	1018,103450	1,482672
58	18/06/2018	21:38:18	30	30	1,359546	1,585905	1,208764	11,490911	0,000000	30,486412	24,974381	1018,136019	1,018013
59	18/06/2018	21:38:20	30	30	1,430908	1,697651	0,713850	11,483407	0,000000	30,485324	24,974381	1018,180438	1,201754
60	18/06/2018	21:38:22	30	30	1,566544	1,626960	0,586328	11,501636	0,000000	30,511080	24,974381	1018,198212	1,314287
61	18/06/2018	21:38:24	30	30	1,157860	1,581046	0,469244	11,498646	0,000000	30,517246	24,974381	1018,248556	1,247764
62	18/06/2018	21:38:26	30	30	0,976556	1,611604	0,326178	11,474764	0,000000	30,529217	24,973887	1018,284087	1,314256
63	18/06/2018	21:38:28	30	30	0,874512	1,713150	0,326101	11,500826	0,000000	30,556063	25,043594	1018,227819	1,492791
64	18/06/2018	21:38:30	30	30	1,272711	1,692804	0,463984	11,498569	0,000000	30,560778	24,974381	1018,254463	1,579829
65	18/06/2018	21:38:32	30	30	1,318784	1,968334	0,739310	11,492068	0,000000	30,835386	24,974875	1018,257425	1,314307
66	18/06/2018	21:38:34	30	30	1,385332	2,121672	0,606696	11,496833					

70	18/06/2018	21:38:42	30	30	1,727497	2,009230	0,400575	11,493843	0,000000	31,013862	24,931441	1018,204138	1,457311
71	18/06/2018	21:38:44	30	30	1,293571	2,060286	0,652607	11,490139	0,000000	31,076983	24,930947	1018,180438	1,324439
72	18/06/2018	21:38:46	30	30	1,293185	1,779785	0,474435	11,486802	0,000000	31,082423	24,973394	1018,097525	1,421325
73	18/06/2018	21:38:48	30	30	1,446794	1,733867	0,724271	11,495251	0,000000	31,293549	24,974381	1018,067919	1,309066
74	18/06/2018	21:38:50	30	30	1,659399	1,992219	0,647748	11,498820	0,000000	31,294637	24,973887	1018,011650	1,395949
75	18/06/2018	21:38:52	30	30	1,579292	1,790823	0,601929	11,487130	0,000000	31,328373	24,972900	1018,005725	1,431711
76	18/06/2018	21:38:54	30	30	1,155494	1,755625	0,765132	11,501231	0,000000	31,346511	24,974381	1017,990912	1,666552
77	18/06/2018	21:38:56	30	30	0,813269	2,039987	0,703945	11,492878	0,000000	31,395121	24,974381	1017,964269	1,493181
78	18/06/2018	21:38:58	30	30	1,155390	1,988971	0,489671	11,501694	0,000000	31,442278	24,973887	1017,934663	1,426757
79	18/06/2018	21:39:00	30	30	1,257565	2,050090	0,729182	11,485779	0,000000	31,462231	24,931934	1017,925775	1,390855
80	18/06/2018	21:39:02	30	30	1,324005	1,937800	0,484455	11,486744	0,000000	31,580490	24,930947	1017,810275	1,059172
81	18/06/2018	21:39:04	30	30	1,584239	2,233752	0,540604	11,490158	0,000000	31,606245	24,974381	1017,816200	1,339394
82	18/06/2018	21:39:06	30	30	1,339382	1,917437	0,433582	11,478353	0,000000	31,769488	24,973394	1017,709606	1,126403
83	18/06/2018	21:39:08	30	30	1,609941	1,907281	0,545905	11,497354	0,000000	31,780369	24,973887	1017,668150	1,128864
84	18/06/2018	21:39:10	30	30	1,150623	1,932718	0,682731	11,484603	0,000000	31,708906	24,973394	1017,688869	1,268138
85	18/06/2018	21:39:12	30	30	1,436145	1,840885	0,627556	11,497624	0,000000	31,705642	24,974875	1017,688819	1,160854
86	18/06/2018	21:39:14	30	30	1,746782	1,718463	0,800764	11,498202	0,000000	31,672630	24,974381	1017,771781	1,314116
87	18/06/2018	21:39:16	30	30	1,396370	1,805130	0,591704	11,487689	0,000000	31,676257	24,973887	1017,789556	1,155836
88	18/06/2018	21:39:18	30	30	1,422983	1,972461	0,566077	11,488210	0,000000	31,777467	24,974381	1017,842863	1,212005
89	18/06/2018	21:39:20	30	30	1,456810	2,174521	0,678095	11,493476	0,000000	31,778918	24,974381	1017,976119	1,472441
90	18/06/2018	21:39:22	30	30	1,507886	2,047701	0,586593	11,496582	0,000000	31,920756	24,974875	1018,026462	1,600359
91	18/06/2018	21:39:24	30	30	1,650869	1,866345	0,724116	11,480802	0,000000	32,031761	24,973887	1018,035331	1,309365
92	18/06/2018	21:39:26	30	30	1,278015	1,917449	0,718967	11,483908	0,000000	32,232729	24,973394	1018,014612	1,211949
93	18/06/2018	21:39:28	30	30	1,267669	1,657057	0,887380	11,494229	0,000000	32,386539	24,974381	1018,029406	1,319266
94	18/06/2018	21:39:30	30	30	1,364619	1,886700	0,989284	11,495888	0,000000	32,409392	24,973887	1018,023500	1,385479
95	18/06/2018	21:39:32	30	30	1,186123	1,912232	0,540686	11,492319	0,000000	32,409392	24,974875	1018,076787	1,676441
96	18/06/2018	21:39:34	30	30	1,574031	1,896883	0,938252	11,484603	0,000000	32,406489	24,973887	1018,106413	1,690923
97	18/06/2018	21:39:36	30	30	1,431330	1,891857	0,661529	11,475980	0,000000	32,651715	24,974381	1018,141944	1,600188
98	18/06/2018	21:39:38	30	30	1,227127	1,667371	0,613748	11,489618	0,000000	32,795371	24,974875	1018,195250	1,452177
99	18/06/2018	21:39:40	30	30	1,226864	1,912148	0,451961	11,483426	0,000000	32,896943	24,931441	1018,260387	1,549227
100	18/06/2018	21:39:42	30	30	1,365443	1,927481	0,351892	11,479606	0,000000	33,000328	24,931441	1018,266313	1,273467

**Valores Medios**      1,21396      1,64084      0,561882      11,8759      0      17,0454      24,1716      986,628      1,16867

Ilustración 83. Ventana frontal. Adquisición de datos para  $f=30\text{Hz}$

En esta ocasión si hemos encontrado interesante dar por finalizadas las 100 muestras previstas, ya que como pudimos observar a lo largo de la prueba, existen cambios significativos principalmente en la velocidad de giro de nuestro aerogenerador, ya que en un inicio no era capaz de vencer el offset de nuestro tacómetro, lo cual se vio solucionado a partir de la muestra 29, donde ya empieza a reportar este valor.



### Potencial Eólico: 40 Hercios

#### SCADA Laboratorio de Microeólica - UPCT

Puerto Modbus (Control Variadores) Puerto USB Datalogger (Adquisición de datos)

COM1 USB0:0x0957:0x0507:MY44009612:INSTR

Dección a guardar

C:\Users\Red de Cátedras\Desktop\Eolica\Sw LabVIEW 2015\Reg datos\Datos 1.txt

Cómo guardar?

Nuevo Anexo

Control Potencial Eólico

Gráficos - Adquisición de Data

Tabla - Adquisición de Data

Iniciar Adquisición de Data OK

Nº muestras 100

t muestreo (s) 2

**Tabla - Adquisición Data**

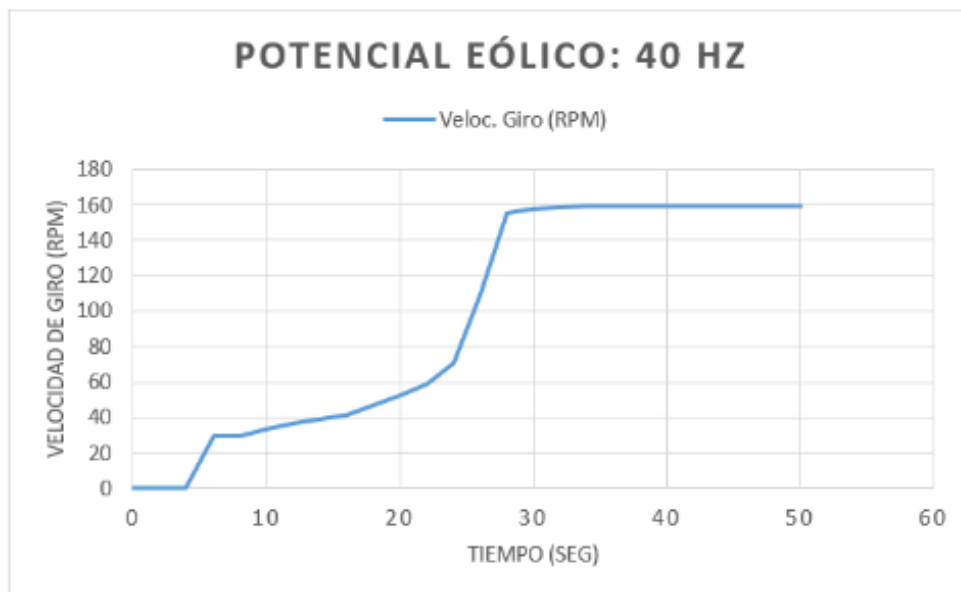
# Muestra	Fecha	Hora	Frec. Variador #1 (Hz)	Frec. Variador #2 (Hz)	Anemómetro 1	Anemómetro 2	Anemómet. 3	Voltaje (V)	Corriente (A)	Veloc. Giro (RPM)	Temp. (°C)	Presión (mbar)	Anem. 4
1	18/06/2018	21:44:26	40	40	2,167045	2,908122	0,387671	11,501598	0,000000	0,000000	24,931934	1018,331469	1,901675
2	18/06/2018	21:44:28	40	40	2,218101	3,000078	0,397662	11,496408	0,000000	0,000000	24,930947	1018,260387	1,959717
3	18/06/2018	21:44:30	40	40	2,136337	2,745101	0,535208	11,494943	0,000000	0,000000	24,930947	1018,233744	1,533934
4	18/06/2018	21:44:32	40	40	2,335335	2,997998	0,770281	11,489618	0,000000	0,000000	29,639005	1018,150831	1,610486
5	18/06/2018	21:44:34	40	40	2,207850	2,592128	0,714207	11,488866	0,000000	0,000000	29,781931	1018,931934	1,692358
6	18/06/2018	21:44:36	40	40	2,146822	2,433744	0,607201	11,488962	0,000000	0,000000	33,301419	1018,932428	1,590207
7	18/06/2018	21:44:38	40	40	2,121056	2,647049	0,622275	11,485509	0,000000	0,000000	36,043877	1018,932428	1,564731
8	18/06/2018	21:44:40	40	40	2,182287	2,646401	0,448730	11,488924	0,000000	0,000000	38,745339	1017,937625	1,840352
9	18/06/2018	21:44:42	40	40	2,022117	2,152806	0,897710	11,485818	0,000000	0,000000	41,356116	1017,881356	1,513623
10	18/06/2018	21:44:44	40	40	1,795567	2,300618	0,530730	11,485586	0,000000	0,000000	44,158785	1017,940569	1,845812
11	18/06/2018	21:44:46	40	40	2,136340	2,668147	1,239338	11,488326	0,000000	0,000000	46,937153	1017,996837	2,131915
12	18/06/2018	21:44:48	40	40	1,962755	2,535430	1,020566	11,477986	0,000000	0,000000	52,490993	1018,931441	2,203556
13	18/06/2018	21:44:50	40	40	1,911616	2,841590	0,831970	11,481863	0,000000	0,000000	59,145077	1018,005725	1,973781
14	18/06/2018	21:44:52	40	40	2,202657	3,056016	0,918482	11,485471	0,000000	0,000000	70,630748	1017,922812	1,545760
15	18/06/2018	21:44:54	40	40	2,028933	2,836723	0,597076	11,490660	0,000000	0,000000	109,345091	1017,931441	1,544821
16	18/06/2018	21:44:56	40	40	2,192375	2,744815	1,198557	11,440774	0,000000	0,000000	155,498163	1018,047181	1,222339
17	18/06/2018	21:44:58	40	40	2,044361	2,459133	1,364659	11,429200	0,000000	0,000000	158,067580	1018,974875	1,074123
18	18/06/2018	21:45:00	40	40	2,029060	2,397783	0,714231	11,423722	0,000000	0,000000	158,876899	1018,118263	1,380715
19	18/06/2018	21:45:02	40	40	2,176831	2,846533	1,112375	11,437379	0,000000	0,000000	155,631293	1018,218931	1,452297
20	18/06/2018	21:45:04	40	40	2,090549	2,678506	1,418558	11,426673	0,000000	0,000000	156,205907	1018,974875	1,411413
21	18/06/2018	21:45:06	40	40	2,381317	2,622408	1,688815	11,414231	0,000000	0,000000	157,455608	1018,242631	1,120236
22	18/06/2018	21:45:08	40	40	2,083933	2,744675	1,872401	11,407440	0,000000	0,000000	156,707238	1018,319619	1,947617
23	18/06/2018	21:45:10	40	40	2,225970	2,773834	1,326884	11,413285	0,000000	0,000000	158,074110	1018,292975	2,157311
24	18/06/2018	21:45:12	40	40	2,131243	2,775420	1,367399	11,408964	0,000000	0,000000	157,639164	1018,937394	2,014455
25	18/06/2018	21:45:14	40	40	2,105755	2,607000	1,255180	11,393358	0,000000	0,000000	157,457059	1018,319619	2,556024
26	18/06/2018	21:45:16	40	40	1,768620	2,586506	1,397782	11,420809	0,000000	0,000000	157,478460	1018,328506	2,871774
27	18/06/2018	21:45:18	40	40	2,452839	2,509930	1,299551	11,399454	0,000000	0,000000	157,002885	1018,974381	2,178700
28	18/06/2018	21:45:20	40	40	2,575476	2,341478	0,923973	11,386915	0,000000	0,000000	157,809297	1018,473612	1,902526
29	18/06/2018	21:45:22	40	40	2,340536	2,708873	1,428606	11,399647	0,000000	0,000000	157,213286	1018,974875	2,027235
30	18/06/2018	21:45:24	40	40	2,131195	2,816074	1,300478	11,389519	0,000000	0,000000	157,451980	1018,369962	2,178012
31	18/06/2018	21:45:26	40	40	2,340393	3,010062	1,533739	11,373971	0,000000	0,000000	158,634215	1018,304806	2,356823
32	18/06/2018	21:45:28	40	40	1,973185	2,882578	1,703790	11,366505	0,000000	0,000000	158,444856	1018,236706	2,183003
33	18/06/2018	21:45:30	40	40	2,559849	2,897747	1,034077	11,374492	0,000000	0,000000	158,601203	1018,215969	1,570055
34	18/06/2018	21:45:32	40	40	2,407163	2,968927	1,408224	11,375206	0,000000	0,000000	158,214504	1018,973887	1,840456
35	18/06/2018	21:45:34	40	40	2,867213	2,974236	1,714164	11,371752	0,000000	0,000000	157,573142	1018,047181	1,769002
36	18/06/2018	21:45:36	40	40	2,561455	2,691390	1,138129	11,385565	0,000000	0,000000	159,605061	1018,050144	1,723004
37	18/06/2018	21:45:38	40	40	2,590844	2,882800	1,704052	11,372293	0,000000	0,000000	158,166984	1018,035331	1,809802
38	18/06/2018	21:45:40	40	40	2,820500	2,984602	1,607142	11,367123	0,000000	0,000000	157,802040	1017,964699	1,432049
39	18/06/2018	21:45:42	40	40	2,207771	2,841717	1,479837	11,364075	0,000000	0,000000	155,778215	1018,034100	1,763645
40	18/06/2018	21:45:44	40	40	1,824805	2,831470	1,653414	11,355510	0,000000	0,000000	156,381482	1017,925775	2,029302
41	18/06/2018	21:45:46	40	40	1,717504	2,816030	1,301233	11,352114	0,000000	0,000000	156,807359	1017,937625	2,264087
42	18/06/2018	21:45:48	40	40	2,166580	2,734464	1,020860	11,363458	0,000000	0,000000	156,892970	1018,002763	1,733374
43	18/06/2018	21:45:50	40	40	1,932030	2,680876	1,050977	11,361721	0,000000	0,000000	155,697678	1018,026462	1,629860
44	18/06/2018	21:45:52	40	40	1,926722	2,560819	1,085149	11,358423	0,000000	0,000000	154,397192	1017,916888	1,549327
45	18/06/2018	21:45:54	40	40	1,993094	2,749721	1,142455	11,358153	0,000000	0,000000	157,975440	1017,905037	1,283717
46	18/06/2018	21:45:56	40	40	1,288903	2,622086	1,576505	11,357612	0,000000	0,000000	158,788025	1018,034100	1,763789
47	18/06/2018	21:45:58	40	40	1,645366	2,545824	1,229445	11,353735	0,000000	0,000000	156,882450	1018,047181	1,718005
48	18/06/2018	21:46:00	40	40	1,727954	2,596677	1,035863	11,352577	0,000000	0,000000	156,004213	1018,026462	1,743434
49	18/06/2018	21:46:02	40	40	2,147367	2,795166	1,234690	11,345286	0,000000	0,000000	156,013282	1018,183400	1,559578
50	18/06/2018	21:46:04	40	40	2,233100	2,827057	1,948492	11,358210	0,000000	0,000000	157,653311	1018,204138	1,299333
51	18/06/2018	21:46:06	40	40	2,069757	2,918822	1,163343	11,342219	0,000000	0,000000	156,808811	1018,281125	1,518431
52	18/06/2018	21:46:08	40	40	2,095333	2,708905	1,086803	11,322658	0,000000	0,000000	157,477011	1018,248556	1,957872
53	18/06/2018	21:46:10	40	40	2,059526	2,586403	1,107305	11,325629	0,000000	0,000000	158,253319	1018,263350	2,387035
54	18/06/2018	21:46:12	40	40	2,478120	2,714010	1,540845	11,329834	0,000000	0,000000	158,090433	1018,278163	2,244488
55	18/06/2018	21:46:14	40	40	2,376374	2,780430	1,122741	11,333448	0,000000	0,000000	156,070598	1018,390681	1,758655
56	18/06/2018	21:46:16	40	40	2,172111	2,708917	1,418045	11,350591	0,000000	0,000000	156,690552	1018,287050	1,450881
57	18/06/2018	21:46:18	40	40	2,125986	2,749725	1,351935	11,336180	0,000000	0,000000	157,869513	1018,349225	1,687432
58	18/06/2018	21:46:20	40	40	2,151248	2,984327	1,505528	11,324182	0,000000	0,000000	156,752946	1018,020306	2,014264
59	18/06/2018	21:46:22	40	40	2,166640	2,652819	0,923751	11,338322	0,000000	0,000000	158,225749	1018,352188	2,264644
60	18/06/2018	21:46:24	40	40	2,100049	2,775146	1,117281	11,330200	0,000000	0,000000	158,110022	1018,390681	2,239096
61	18/06/2018	21:46:26	40	40	1,687626	2,963710	1,714236	11,317874	0,000000	0,000000	156,487043	1018,367000	1,375673
62	18/06/2018	21:46:28	40	40	2,086370	2,902742	1,494883	11,338457	0,000000	0,000000	156,785595	1018,295938	1,212724
63	18/06/2018	21:46:30	40	40	2,176950	2,877170	1,224570	11,338148	0,000000	0,000000	156,622352	1018,260387	1,452074
64	18/06/2018	21:46:32	40	40	1,640770	2,812722	1,438813	11,324934	0,000000	0,000000	156,017273	1018,239669	1,436853
65	18/06/2018	21:46:34	40	40	2,023692	2,705258	1,530829	11,330007	0,000000	0,000000	158,289231	1018,076544	1,641012
66	18/0												

71	18/06/2018	21:46:46	40	40	2,355463	2,714086	1,836762	11,322388	0,000000	158,475690	25,075556	1017,887281	2,559062
72	18/06/2018	21:46:48	40	40	2,064417	2,856803	1,583706	11,314170	0,000000	159,096508	25,077038	1018,002763	2,663165
73	18/06/2018	21:46:50	40	40	2,008590	2,933427	1,639016	11,317256	0,000000	157,207118	25,075556	1018,023500	2,469054
74	18/06/2018	21:46:52	40	40	2,447065	2,958871	1,433835	11,313205	0,000000	156,414131	25,188578	1017,999800	1,621083
75	18/06/2018	21:46:54	40	40	2,141227	2,759980	1,596692	11,318742	0,000000	158,119098	25,189072	1017,786594	2,606837
76	18/06/2018	21:46:56	40	40	1,948273	2,790494	1,295774	11,323449	0,000000	158,006273	25,189072	1017,875431	2,382215
77	18/06/2018	21:46:58	40	40	1,487420	2,561380	1,311440	11,318394	0,000000	156,612922	25,189566	1017,899113	2,177805
78	18/06/2018	21:47:00	40	40	2,176915	2,658155	1,408363	11,306010	0,000000	157,432028	25,189566	1018,002763	2,157494
79	18/06/2018	21:47:02	40	40	2,136030	2,873965	1,316192	11,314748	0,000000	157,128764	25,187591	1017,987950	2,024574
80	18/06/2018	21:47:04	40	40	2,079953	2,775178	1,581447	11,320825	0,000000	157,742185	25,188578	1018,118263	1,820026
81	18/06/2018	21:47:06	40	40	2,161658	2,734409	1,454126	11,312607	0,000000	156,111589	25,189072	1018,224856	1,815091
82	18/06/2018	21:47:08	40	40	2,314924	2,912973	1,785336	11,315424	0,000000	158,395521	25,188578	1018,204138	1,671988
83	18/06/2018	21:47:10	40	40	2,253661	2,770183	1,275665	11,309482	0,000000	157,591641	25,190059	1018,207100	1,559757
84	18/06/2018	21:47:12	40	40	2,508626	2,683416	1,591710	11,314189	0,000000	157,228158	25,189072	1018,245594	2,034082
85	18/06/2018	21:47:14	40	40	2,559948	2,815907	1,739529	11,306955	0,000000	156,544359	25,189566	1018,310731	2,398689
86	18/06/2018	21:47:16	40	40	1,972413	2,734439	1,180894	11,306627	0,000000	158,495642	25,189072	1018,301844	2,734639
87	18/06/2018	21:47:18	40	40	2,089981	2,724166	0,780731	11,304640	0,000000	156,891155	25,188578	1018,307769	2,617406
88	18/06/2018	21:47:20	40	40	2,448290	2,683432	0,724653	11,310447	0,000000	156,112679	25,189072	1018,355150	2,131875
89	18/06/2018	21:47:22	40	40	2,141633	2,912802	1,040833	11,292487	0,000000	157,775561	25,188578	1018,352188	1,672095
90	18/06/2018	21:47:24	40	40	2,253582	2,948843	1,443947	11,314208	0,000000	157,291279	25,188578	1018,438063	1,927521
91	18/06/2018	21:47:26	40	40	2,396606	2,673404	1,657963	11,317276	0,000000	157,426586	25,189072	1018,435100	1,406514
92	18/06/2018	21:47:28	40	40	2,575289	2,780160	1,147899	11,292390	0,000000	159,107410	25,189072	1018,304806	1,988637
93	18/06/2018	21:47:30	40	40	2,110669	2,672048	1,112406	11,310987	0,000000	156,885716	25,190059	1018,375887	2,274644
94	18/06/2018	21:47:32	40	40	2,120817	2,831236	1,566146	11,306955	0,000000	157,543757	25,188578	1018,260387	2,065550
95	18/06/2018	21:47:34	40	40	2,585520	2,729291	1,316602	11,322330	0,000000	157,500227	25,189072	1018,284087	1,636479
96	18/06/2018	21:47:36	40	40	2,330253	2,770024	1,423568	11,295786	0,000000	155,905543	25,188578	1018,218931	1,570047
97	18/06/2018	21:47:38	40	40	2,514094	2,667885	1,459184	11,307206	0,000000	158,381010	25,189072	1018,248556	2,233505
98	18/06/2018	21:47:40	40	40	2,585774	2,841419	1,459013	11,301284	0,000000	157,899622	25,188084	1018,073844	1,887360
99	18/06/2018	21:47:42	40	40	2,616042	2,851638	1,260563	11,314208	0,000000	158,632039	25,189072	1018,056069	1,714482
100	18/06/2018	21:47:44	40	40	2,039704	2,724154	1,503142	11,289227	0,000000	156,835654	25,189072	1018,035331	1,669681

**Valores Medios**      1,62715      2,12119      0,877312      11,6548      0      70,3545      24,5561      1000,34      1,47445

Ilustración 84. Ventana frontal. Adquisición de datos para  $f=40\text{Hz}$

Al igual que en el anterior ensayo a 30hz, ahora también resulta interesante concluir cada una de las 100 recopilaciones de datos obtenidas, y apreciar el aumento progresivo en función del tiempo de la velocidad de giro del aerogenerador, así como las posibles turbulencias originador a lo largo de la prueba y que se pueden ver reflejadas en los altibajos de los valor reportados por los anemómetros. En este caso, el punto algado se situa en aproximadamente 27 segundos.



## Potencial Eólico: 50 Hercios

### SCADA Laboratorio de Microeólica - UPCT

Puerto Modbus (Control Variadores) COM1

Puerto USB Datalogger (Adquisición de data) USB0:0x0957:0x0507:MY44009612:INSTR

STOP

Dirección a guardar C:\Users\Red de Cátedras\Desktop\Eolica\Sw LabVIEW 2015\Reg datos\Datos 1.txt

Cómo guardar?

Control Potencial Eólico
Gráficos - Adquisición de Data
Tabla - Adquisición de Data
Iniciar Adquisición de Data 
Nº muestras 
t muestreo (s)

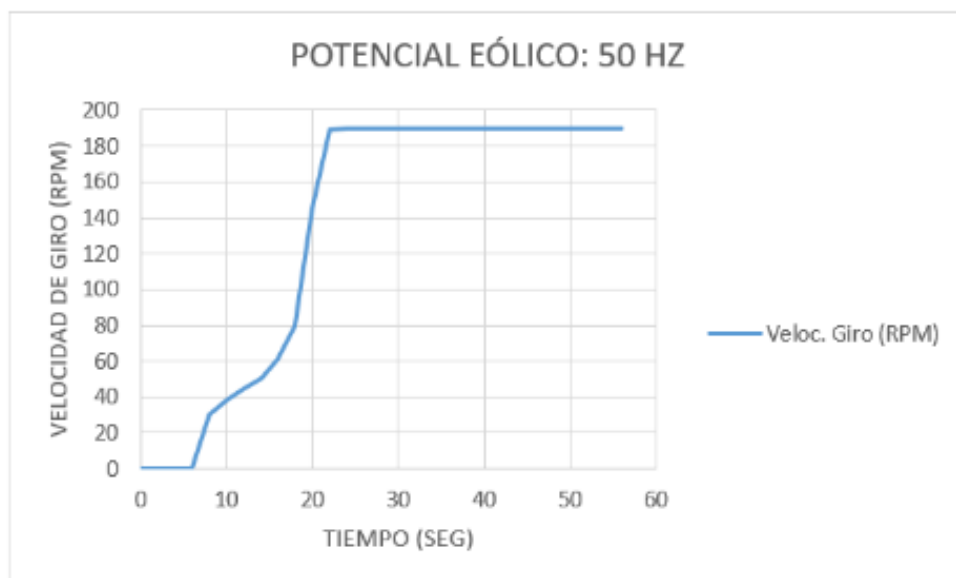
#### Tabla - Adquisición Data

# Muestra	Fecha	Hora	Frec. Variador #1 (Hz)	Frec. Variador #2 (Hz)	Anemómetro 1	Anemómetro 2	Anemómet. 3	Voltaje (V)	Corriente (A)	Veloc. Giro (RPM)	Temp. (°C)	Presión (mbar)	Anem. 4
1	18/06/2018	21:51:01	50	50	0,981415	1,605599	0,565235	11,411588	0,000000	0,000000	25,076544	1018,138981	0,809201
2	18/06/2018	21:51:03	50	50	2,671579	3,114078	0,510253	11,409755	0,000000	0,000000	25,075556	1016,838988	1,304005
3	18/06/2018	21:51:05	50	50	3,775016	3,831495	0,647688	11,419458	0,000000	0,000000	25,076050	1016,605044	2,167443
4	18/06/2018	21:51:07	50	50	3,003008	3,865127	0,673307	11,418918	0,000000	0,000000	25,075063	1016,773831	2,321068
5	18/06/2018	21:51:09	50	50	2,677619	3,817471	1,025480	11,419593	0,000000	29,992331	25,076544	1016,762000	2,540631
6	18/06/2018	21:51:11	50	50	2,640488	3,817006	1,153076	11,422622	0,000000	37,865288	25,076544	1016,889331	2,509871
7	18/06/2018	21:51:13	50	50	2,614531	3,311649	1,402673	11,413555	0,000000	44,975359	25,076050	1016,895256	2,137347
8	18/06/2018	21:51:15	50	50	2,233541	3,541408	1,362178	11,417626	0,000000	50,667403	25,076544	1016,957431	2,070624
9	18/06/2018	21:51:17	50	50	2,851268	3,464777	1,035739	11,413575	0,000000	60,844965	25,076050	1016,806419	2,366855
10	18/06/2018	21:51:19	50	50	2,596033	3,827058	0,974258	11,422969	0,000000	79,863320	25,076050	1017,031475	2,472593
11	18/06/2018	21:51:21	50	50	2,841033	3,704659	0,760217	11,403968	0,000000	144,999530	25,076544	1017,058119	2,271487
12	18/06/2018	21:51:23	50	50	2,708431	3,490416	0,956988	11,296364	0,000000	189,166294	25,076544	1016,978169	2,129465
13	18/06/2018	21:51:25	50	50	3,239499	3,056768	0,494870	11,276611	0,000000	188,981029	25,075556	1016,951506	1,765093
14	18/06/2018	21:51:27	50	50	2,627112	3,040994	0,657999	11,280334	0,000000	188,040214	25,076544	1017,004813	2,239152
15	18/06/2018	21:51:29	50	50	3,224170	3,459317	0,729739	11,257166	0,000000	190,005403	25,075556	1017,025550	2,218881
16	18/06/2018	21:51:31	50	50	3,074007	3,877919	1,770039	11,239264	0,000000	186,372898	25,077038	1017,061081	1,845939
17	18/06/2018	21:51:33	50	50	2,106657	3,801582	0,959657	11,242100	0,000000	187,658805	25,077038	1017,040344	2,147236
18	18/06/2018	21:51:35	50	50	2,263698	3,842299	1,178799	11,245437	0,000000	186,140437	25,076050	1017,067006	3,035872
19	18/06/2018	21:51:37	50	50	2,908094	3,593016	1,541135	11,234229	0,000000	184,534876	25,076050	1017,040344	2,995568
20	18/06/2018	21:51:39	50	50	2,869338	3,561794	1,280731	11,238762	0,000000	186,216705	25,076544	1017,138069	2,484641
21	18/06/2018	21:51:41	50	50	2,693198	3,842398	1,306498	11,208958	0,000000	186,659669	25,076050	1017,064044	2,520153
22	18/06/2018	21:51:43	50	50	3,127121	3,827094	2,397429	11,215344	0,000000	189,594922	25,075556	1017,001850	2,734794
23	18/06/2018	21:51:45	50	50	2,892371	3,796623	1,632211	11,205891	0,000000	189,605824	25,077038	1016,904125	3,388984
24	18/06/2018	21:51:47	50	50	2,090561	3,623057	1,484266	11,201994	0,000000	188,672277	25,188578	1017,001850	3,543066
25	18/06/2018	21:51:49	50	50	2,570410	3,531217	1,275840	11,198271	0,000000	188,069286	25,189072	1017,087725	2,528058
26	18/06/2018	21:51:51	50	50	2,810044	3,872964	2,051888	11,207839	0,000000	187,491710	25,188578	1016,990019	2,596506
27	18/06/2018	21:51:53	50	50	3,525276	3,975028	2,380907	11,194876	0,000000	188,577839	25,188578	1017,099575	3,046294
28	18/06/2018	21:51:55	50	50	3,974292	3,791569	2,137979	11,186388	0,000000	187,716926	25,189072	1016,954469	2,418149
29	18/06/2018	21:51:57	50	50	3,219482	3,995510	2,046122	11,189398	0,000000	189,438729	25,188578	1016,915975	2,086346
30	18/06/2018	21:51:59	50	50	2,713799	3,684662	2,122825	11,180698	0,000000	188,319917	25,189072	1016,904125	2,407998
31	18/06/2018	21:52:01	50	50	2,204463	3,995470	2,407823	11,178055	0,000000	188,668643	25,188578	1016,767925	3,419359
32	18/06/2018	21:52:03	50	50	2,466899	3,928974	2,357161	11,169239	0,000000	188,414378	25,189072	1016,936675	3,603327
33	18/06/2018	21:52:05	50	50	2,549789	4,037893	1,811389	11,173464	0,000000	188,316283	25,188578	1016,880444	3,097740
34	18/06/2018	21:52:07	50	50	2,259097	3,760789	1,698665	11,177920	0,000000	186,801549	25,189072	1016,904125	2,944493
35	18/06/2018	21:52:09	50	50	2,126157	3,770892	1,775288	11,174506	0,000000	185,508374	25,188084	1016,904125	2,055781
36	18/06/2018	21:52:11	50	50	2,473201	3,510711	2,219219	11,171978	0,000000	186,111365	25,189072	1016,762000	2,244257
37	18/06/2018	21:52:13	50	50	2,687548	3,372824	2,199039	11,167792	0,000000	185,475691	25,189566	1016,462900	2,806439
38	18/06/2018	21:52:15	50	50	2,253848	3,745305	2,189428	11,179637	0,000000	183,281652	25,189072	1016,655387	2,898248
39	18/06/2018	21:52:17	50	50	2,596065	4,026004	2,551900	11,167850	0,000000	185,501106	25,189072	1016,762000	3,171333
40	18/06/2018	21:52:19	50	50	2,703199	3,942999	2,115365	11,167310	0,000000	186,180388	25,189566	1016,569512	2,356171
41	18/06/2018	21:52:21	50	50	2,463439	4,163759	1,547056	11,158803	0,000000	186,550895	25,189072	1016,628744	1,886831
42	18/06/2018	21:52:23	50	50	2,749033	3,699267	1,750039	11,153365	0,000000	189,326121	25,188578	1016,794569	2,499779
43	18/06/2018	21:52:25	50	50	3,192976	3,571954	1,444098	11,153209	0,000000	187,528050	25,188578	1016,762000	2,504980
44	18/06/2018	21:52:27	50	50	2,566275	3,479783	2,229537	11,147730	0,000000	187,894923	25,187591	1016,836025	2,116785
45	18/06/2018	21:52:29	50	50	1,906367	4,090862	2,086951	11,141229	0,000000	188,294502	25,240400	1016,741262	1,815079
46	18/06/2018	21:52:31	50	50	2,309747	4,073418	2,316443	11,154925	0,000000	186,648990	25,188578	1016,803456	2,612058
47	18/06/2018	21:52:33	50	50	2,146572	3,747766	2,790944	11,149582	0,000000	185,998757	25,189072	1016,827137	3,036000
48	18/06/2018	21:52:35	50	50	2,340564	4,219988	3,127562	11,143409	0,000000	185,835296	25,188578	1017,010738	3,235193
49	18/06/2018	21:52:37	50	50	2,585496	3,872996	2,000522	11,150952	0,000000	187,277396	25,188578	1017,055156	2,760211
50	18/06/2018	21:52:39	50	50	2,795003	3,827026	2,270433	11,132162	0,000000	186,627186	25,188578	1016,930787	2,806420
51	18/06/2018	21:52:41	50	50	2,575611	3,541189	2,245419	11,131256	0,000000	189,021003	25,189072	1017,031475	2,576712
52	18/06/2018	21:52:43	50	50	2,912496	3,878026	2,143200	11,124253	0,000000	189,456899	25,239413	1016,981131	3,643774
53	18/06/2018	21:52:45	50	50	3,560768	3,577028	1,583404	11,119026	0,000000	187,444491	25,239413	1016,998888	3,059698
54	18/06/2018	21:52:47	50	50	3,703896	3,668705	1,579014	11,132336	0,000000	187,302834	25,239413	1017,046269	2,513724
55	18/06/2018	21:52:49	50	50	3,342072	3,903451	1,696724	11,106486	0,000000	188,610522	25,238428	1017,031475	1,713301
56	18/06/2018	21:52:51	50	50	2,718782	3,372972	1,974215	11,130175	0,000000	187,473563	25,239413	1017,013700	2,898117
57	18/06/2018	21:52:53	50	50	3,351102	3,556180	2,046019	11,122999	0,000000	187,495344	25,239906	1017,019625	3,225407
58	18/06/2018	21:52:55	50	50	2,572140	3,943997	1,795675	11,117424	0,000000	185,021625	25,240400	1017,064044	2,653109
59	18/06/2018	21:52:57	50	50	1,936356	3,414504	1,143088	11,115418	0,000000	186,921425	25,239906	1017,099575	2,510125
60	18/06/2018	21:52:59	50	50	3,000650	3,768117	1,464631	11,118582	0,000000	188,893859	25,239906	1017,090688	2,959527
61	18/06/2018	21:53:01	50	50	3,121820	3,520083	1,851872	11,109438	0,000000	186,543627	25,240894	1017,004813	2,479516
62	18/06/2018	21:53:03	50	50	3,040087	3,479795	1,968799	11,105946	0,000000	189,791089	25,239413	1017,081819	3,475218
63	18/06/2018	21:53:05	50	50	3,101521	3,658411	1,964178	11,118890	0,000000	188,029335	25,239906	1017,058119	2,949698
64	18/06/2018	21:53:07	50	50	3,075906	3,678916	2,417903	11,084052	0,000000	189,355193	25,239413	1017,007775	2,954529
65	18/06												

71	18/06/2018	21:53:21	50	50	3,060835	3,862900	2,086669	11,084225	0,000000	190,423129	25,291728	1016,838988	1,360476
72	18/06/2018	21:53:23	50	50	2,786820	4,194806	1,622626	11,081736	0,000000	189,525899	25,290744	1016,634650	2,596558
73	18/06/2018	21:53:25	50	50	3,292225	4,286480	1,648174	11,077763	0,000000	188,715862	25,291234	1016,631706	2,285444
74	18/06/2018	21:53:27	50	50	3,668403	3,881640	2,586578	11,086887	0,000000	188,494280	25,291234	1016,682031	2,213632
75	18/06/2018	21:53:29	50	50	3,096551	3,892997	2,566175	11,083222	0,000000	189,162660	25,291234	1016,631706	2,193190
76	18/06/2018	21:53:31	50	50	3,152696	4,066829	1,958961	11,079846	0,000000	186,569065	25,291234	1016,753113	1,820427
77	18/06/2018	21:53:33	50	50	2,310097	3,617765	1,270528	11,079287	0,000000	188,755813	25,291234	1016,687956	2,223569
78	18/06/2018	21:53:35	50	50	3,249463	3,535988	1,091813	11,071937	0,000000	188,864787	25,291234	1016,702769	2,637645
79	18/06/2018	21:53:37	50	50	3,504762	3,622636	2,116658	11,084765	0,000000	188,040214	25,290744	1016,661313	2,428591
80	18/06/2018	21:53:39	50	50	3,019951	3,444159	2,015632	11,076567	0,000000	188,065652	25,291234	1016,643538	2,514944
81	18/06/2018	21:53:41	50	50	3,137439	3,556271	2,224344	11,072053	0,000000	186,307532	25,291234	1016,702769	2,307143
82	18/06/2018	21:53:43	50	50	3,234063	3,653293	2,149713	11,081582	0,000000	187,575269	25,290744	1016,794569	2,260723
83	18/06/2018	21:53:45	50	50	2,988646	3,796202	2,101981	11,065108	0,000000	189,351559	25,290744	1016,874519	2,796165
84	18/06/2018	21:53:47	50	50	2,148122	3,694062	2,239227	11,068773	0,000000	188,134675	25,291728	1016,809381	3,301859
85	18/06/2018	21:53:49	50	50	2,630241	3,474753	1,239807	11,070799	0,000000	189,398778	25,291728	1016,933750	2,004216
86	18/06/2018	21:53:51	50	50	2,231012	3,535936	2,132177	11,063951	0,000000	189,725700	25,290744	1017,034437	2,045029
87	18/06/2018	21:53:53	50	50	2,248612	3,816807	1,642798	11,077589	0,000000	188,697692	25,291234	1017,025550	2,535402
88	18/06/2018	21:53:55	50	50	3,295593	3,755584	1,326562	11,069063	0,000000	188,051116	25,290744	1017,010738	2,632623
89	18/06/2018	21:53:57	50	50	3,234246	3,499450	1,484497	11,052955	0,000000	187,720560	25,292222	1017,155844	3,383445
90	18/06/2018	21:53:59	50	50	3,060752	3,408381	1,999774	11,053495	0,000000	189,841942	25,292222	1017,049231	2,934345
91	18/06/2018	21:54:01	50	50	3,249849	3,709474	2,127437	11,069641	0,000000	189,213513	25,291234	1017,120312	2,372461
92	18/06/2018	21:54:03	50	50	3,576352	3,510464	1,877423	11,040223	0,000000	187,796851	25,291234	1017,081819	1,811047
93	18/06/2018	21:54:05	50	50	2,453256	3,806333	2,489329	11,038352	0,000000	188,218211	25,291728	1017,078856	2,320304
94	18/06/2018	21:54:07	50	50	3,152171	3,684018	2,575595	11,045123	0,000000	186,903255	25,291728	1017,075894	2,285352
95	18/06/2018	21:54:09	50	50	3,090992	3,694134	2,260684	11,064896	0,000000	186,478261	25,394881	1017,123275	2,556020
96	18/06/2018	21:54:11	50	50	3,499347	3,428767	1,843899	11,072979	0,000000	184,770994	25,394881	1017,141031	2,090199
97	18/06/2018	21:54:13	50	50	3,377441	3,903303	1,228006	11,051219	0,000000	187,041278	25,343059	1017,111425	1,932813
98	18/06/2018	21:54:15	50	50	3,559898	3,796237	0,898863	11,045856	0,000000	187,673341	25,342072	1017,069969	2,464115
99	18/06/2018	21:54:17	50	50	3,885219	4,081661	1,724368	11,041323	0,000000	189,870991	25,342566	1017,138069	3,317053
100	18/06/2018	21:54:19	50	50	3,535396	3,796456	1,770266	11,046049	0,000000	187,433589	25,342072	1017,087725	2,694033

Ilustración 85. Ventana frontal. Adquisición de datos para  $f=50\text{Hz}$

Llegamos al mayor exponencial del potencial eólico, o lo que es lo mismo, la mayor frecuencia capaz de aportar nuestros variadores de frecuencia a los motores asíncronos, por lo que es obvio, que esto tendrá su reflejo en una mayor velocidad de giro del aerogenerador, y una mayor velocidad (m/s) captada por nuestros anemómetros. Es curioso ver, como la presión atmosférica también se ve disminuida, ya que cuanto menor sea la temperatura medida en la boca del presostato, menor será la presión medida.



## 12. Propuesta de mejora

Entre las propuestas de mejora concebidas para nuestro proyecto, podríamos mencionar la idea de incluir un nuevo transductor de corriente y voltaje encargados de medir dichos parámetros en el puente existente en el regulador de carga, con destino a la resistencia encargada de disipar el exceso de corriente cuando se dé el caso de que las baterías se encuentren completas, ya que en la actualidad, cuando las baterías están llenas, como podemos observar en los parámetros de ensayo, no disponemos de ninguna medida de corriente de entrada a dichas baterías, ya que esta es disipada al completo por la resistencia.

Por otro lado, sería importante sustituir el actual inversor situado a la salida de la batería, y cuya función es la de convertir el voltaje de continua a alterna en 230VAC, por uno cuyo voltaje nominal de entrada sea de 24V, y no de 12V como en la actualidad, ya que el regulador de carga de las baterías es a su vez de 24V, y no existe posibilidad de modificarlo. Gracias a este cambio, tendremos la posibilidad de recuperar en cierta parte la electricidad consumida por los motores asíncronos.

## 13. Conclusión

Tal y como se expuso en un primer momento en la propuesta de proyecto, destacar que todos los puntos mencionados han sido llevados a cabo. En primer lugar, hemos procedido al estudio de la instalación del aerogenerador antiguo, encontrando y abordando las necesidades y requerimientos que estaban pendientes de llevar a cabo para poder tener la posibilidad de recrear de forma real condiciones concretas de temperatura, presión y velocidad del viento, otorgándonos la posibilidad de investigar su comportamiento.

La siguiente tarea llevada a cabo consistió en el desmontaje de todo el cableado existente en torno a la estación experimental con el objetivo de proceder a su correcto recableado, dejando dicha instalación reflejada en los mapas de cableado expuestos más arriba para una posible reestructuración y consulta tanto a lo largo del proyecto, como en proyectos posteriores.

Destacar la instalación de bandejas de plástico que sirvan de guía para los cables existentes desde las baterías, inversor, cuadros eléctricos y ordenador, hasta el propio aerogenerador, así como la innovadora instalación de dos anemómetros adicionales (antiguamente solo contaba con dos, tiene como finalidad poder obtener un mapa eólico mucho más completo), unos magnetotérmicos que protejan los motores asíncronos, la inclusión de un nuevo fusible de 100 amperes previo al inversor y por último la integración de dos nuevas baterías de 12V.

Otra de las partes más importantes de nuestro proyecto, radica en la elaboración de un programa SCADA en LabVIEW<sup>®</sup>, que nos permita la recogida/adquisición, supervisión y posterior integración de datos de registro del potencial eólico, por medio de un control en los diferentes variadores, con el objetivo de una mejor caracterización del aerogenerador de baja potencia en el banco de ensayos.



## 14. Referencias

- <http://www.ni.com/academic/students/learnlabview/esa/environment.htm>
- <http://www.ni.com/academic/students/learnlabview/esa/gprogramming.htm>
- [José María Escudero López. Manual de energía eólica/ Guide to Wind Energy](#)
- [Miguel Villarrubia López. Ingeniería de la Energía Eólica](#)
- [Desconocido. Operación y puesta en servicio de instalaciones de energía eólica](#)
- [Miguel Villarrubia López. Energía eólica](#)
- [Ana Patricia Talayero Navales y Enrique Telmo Martínez. Energía eólica \(Serie Energías renovables\) \(2ª ed.\)](#)
- [Desconocido. Introducción a la energía eólica](#)
- [Paul Gipe. Energía eólica práctica: una guía para instalación y uso de pequeños sistemas](#)
- [Paul Gipe Wind Power. Renewable Energy for Home, Farm, and Business](#)
- [J. F. Manwell. Wind energy explained](#)
- [Ervin Bossányi, Nick Jenkins, David Sharpe, Tony Burton. Wind Energy Handbook](#)
- [Pramod Jain. Wind Energy Engineering](#)
- [Carrillo C., A. F. Obando Montaña, J. Cidrás, E. Díaz-Dorado; “Review of power curve modelling for wind turbines”. 2013.](#)
- [Manwell JF, McGowan JG, Rogers AL. “Wind energy explained”, 1st ed. Amherst, USA: Wiley; 2002\).](#)
- [Moulay Tahar Lamchich and Nora Lachguer. “Matlab Simulink as Simulation Tool for Wind Generation Systems Based on Doubly Fed Induction Machines”. 2012..](#)

