



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA  
SUPERIOR INGENIEROS  
INDUSTRIALES VALENCIA

**TRABAJO FIN DE GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES**

# **IMPLEMENTACIÓN DEL ACTUADOR DE PASO DE UN AEROGENERADOR MEDIANTE PLC**

AUTOR: JOSE RIBAS BAÑÓ

TUTOR: MANUEL PINEDA SÁNCHEZ

COTUTOR: JUAN PÉREZ CRUZ

**Curso Académico: 2014-15**



# AGRADECIMIENTOS

Quiero dedicar mi más sincero agradecimiento mis padres, mi hermana, mis tíos Nolo y Dani y mis amigos por el apoyo recibido y por estar ahí sin que yo se lo pidiera.



# RESUMEN

El presente TFG consiste en la programación de un sistema electromecánico de control capaz de variar el ángulo de ataque del viento que incide sobre la pala de un aerogenerador, variando el ángulo de la misma.

Este sistema se denomina control de Paso de Pala: Al variar la posición de la pala mediante un giro con respecto a un eje longitudinal de la misma se modifica la posición de ésta con respecto al viento incidente. Como resultado se conseguirá un mejor control de la potencia del aerogenerador, una reducción de los esfuerzos aerodinámicos facilitando, además, una mejor operación y mantenimiento.

En este trabajo primero se hará una introducción al problema de control, recordando los distintos sistemas que, para éste propósito, se utilizan hoy en día en la industria de generación eólica. Se expondrá que el sistema de control de pala se ha empezado a implementar recientemente a medida que el tamaño y la potencia de los aerogeneradores se ha incrementado y que ha contribuido a mejorar la eficiencia de estas máquinas.

Se justificará el porqué de la selección de un autómata programable para realizar el Control de Paso de Pala. Junto a éste se expondrán el resto de dispositivos que se van a utilizar en este trabajo y que configuran el sistema. Se describirán sus características funcionales, y el software necesario para programarlos, así como, el procedimiento realizado para su programación y una explicación detallada del funcionamiento del programa realizado.

El autómata programable que controla el movimiento del ángulo de ataque de la pala deberá seguir la curva característica de velocidad viento-ángulo de paso. En este TFG se detallará la programación del mismo siguiendo esta curva y además se introducirán otros elementos de programación y hardware, tales como la pantalla táctil, que permitirán, también, una actuación directa, no remota, facilitando las tareas de operación y mantenimiento.

Los datos de entrada al autómata programable serán tomados directamente del anemómetro. La señal analógica recibida, será convertida mediante la programación del autómata, en salidas digitales que siguiendo el programa establecido, actuarán sobre un variador de frecuencia que a su vez enviará las ordenes a un motor eléctrico asíncrono.

Se procederá a implementar la programación de estos equipos para conseguir que el sistema funcione según los requerimientos . Esta programación, que es núcleo del TFG, ha requerido el uso de Zeliosoft2 para programar el PLC y VijeoDesigner para programar el terminal HMI .

Se detallará la selección de los diferentes componentes del equipo detallando, paso a paso, todo el proceso de parametrización de los mismos.

**Palabras Clave:** Implementación, Programación, PLC, Terminal HMI, Variador de Frecuencia, Control, Aerogenerador.



# ÍNDICE

## MEMORIA

1. OBJETIVOS.....	3
2. MOTIVACIÓN.....	4
3. ANTECEDENTES.....	5
4. CONTROLADORES ACTUALES DE POTENCIA Y FRENADO DE AEROGENERADORES.....	7
4.1 CONTROL DE POTENCIA.....	7
4.1.1 CONTROL POR PÉRDIDA AERODINÁMICA.....	7
4.1.2 CONTROL POR CAMBIO DE PASO.....	7
4.2 CONTROL DE FRENADO.....	8
4.2.1 FRENO MECÁNICO.....	8
4.2.2 MECANISMO DE ORIENTACIÓN.....	8
4.2.3 ACTUADOR DE PASO.....	9
4.2.3.1 ACTUADOR DE PASO HIDRÁULICO.....	9
4.2.3.2 MECANISMOS PASIVO DE CAMBIO DE PASO...10	
4.2.3.3 ACTUADOR DE PASO ELÉCTRICO.....	10
5. PLANTEAMIENTO.....	11
5.1 SOLUCIÓN ESCOGIDA.....	11
5.2 PLC.....	12
5.2.1 SELECCIÓN DEL PLC.....	13
5.3 HMI.....	13
5.4 VARIADOR DE FRECUENCIA.....	14
6. ENTORNO DE PROGRAMACIÓN.....	15
6.1 ZELIOSOFT2.....	15
6.1.1 CREACIÓN DE UN NUEVO PROYECTO.....	17
6.1.2 FUNCIONAMIENTO DEL PROGRAMA.....	20
6.1.2.1 SISTEMA SUPERVISOR Y OPERARIO A POSICIÓN BANDERA.....	21
6.1.2.2 ANEMÓMETRO.....	21
6.1.2.3 SELECTOR DE PASO MANUAL.....	21
6.1.2.4 SENSOR DE POSICIÓN.....	21
6.1.2.5 COMPARADOR DE VIENTO.....	21
6.1.2.6 FILTRO ANTI-RÁFAGAS.....	22

6.1.2.7	SELECTOR DE PASO.....	22
6.1.2.8	SELECTOR DE PRIORIDAD.....	22
6.1.2.9	COMPARACIÓN, DIRECCIÓN Y CONTROL DEL TIEMPO DE MARCHA.....	23
6.1.2.10	SELECTOR DE POTENCIA.....	23
6.1.2.11	SEÑAL DE MANTENIMIENTO.....	23
6.2	VIJEODESIGNER.....	24
6.2.1	CREACIÓN DE UN NUEVO PROYECTO.....	24
6.2.2	FUNCIONAMIENTO DE LA PANTALLA.....	28
6.2.2.1	PANEL DE INICIO.....	29
6.2.2.2	PANEL DE ESTADO.....	29
6.2.2.3	PANEL DE CONTROL.....	29
6.2.3	VARIABLES DEL PROGRAMABLE.....	29
7	INSTALACIÓN DEL VARIADOR DE FRECUENCIA.....	31
8	SELECCIÓN DEL MOTOR TRIFÁSICO.....	34
9	FUNCIONAMIENTO.....	36
9.1	ANEMÓMETRO.....	37
9.2	RELACIÓN VIENTO-PASO.....	37
9.2.1	PROCESO DE FUNCIONAMIENTO NORMAL.....	38
9.2.2	PROCESO DE FUNCIONAMIENTO AUXILIAR.....	38
10	CONCLUSIONES.....	39
	BIBLIOGRAFÍA.....	41

## PLIEGO DE CONDICIONES

1	ESPECIFICACIONES DE FUNCIONAMIENTO.....	45
1.1	ESPECIFICACIONES DE FUNCIONAMIENTO DEL PLC.....	45
1.2	ESPECIFICACIONES DE FUNCIONAMIENTO DEL HMI.....	46
2	ESPECIFICACIONES DE EQUIPO.....	47

## PRESUPUESTO

	PRESUPUESTO.....	51
--	------------------	----

## ANEXOS DE PROGRAMACIÓN

	ANEXO 1.....	55
	ANEXO 2.....	65
	ANEXO 3.....	67



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA  
SUPERIOR INGENIEROS  
INDUSTRIALES VALENCIA

**IMPLEMENTACIÓN DEL ACTUADOR DE PASO  
DE UN AEROGENERADOR MEDIANTE PLC**

**MEMORIA**  
**DESCRIPTIVA**

**Ribas Bañó, Jose**



# 1.Objetivos

El principal objetivo de este trabajo será programar un PLC (*Programmable Logic Controller*) que controle el giro de la pala de un aerogenerador con el fin de evitar daños estructurales en éste motivados por variaciones de la velocidad del viento, rachas y períodos transitorios tales como el arranque o la parada por fallo del sistema (p.ej: huecos de tensión). La actuación de este sistema permitirá, además, un control de la potencia del aerogenerador bajo todas las condiciones haciéndolo más eficiente.

Con el objetivo secundario de introducir las pantallas táctiles (HMI), aprovechando la capacidad de éstas como elemento de diálogo hombre-pantalla-maquina, se implementará una HMI cuya programación permitirá que el usuario pueda realizar pruebas durante el período de mantenimiento y reparación o llevar de forma voluntaria al estado de parada al aerogenerador cuando se necesite acceder a la góndola.

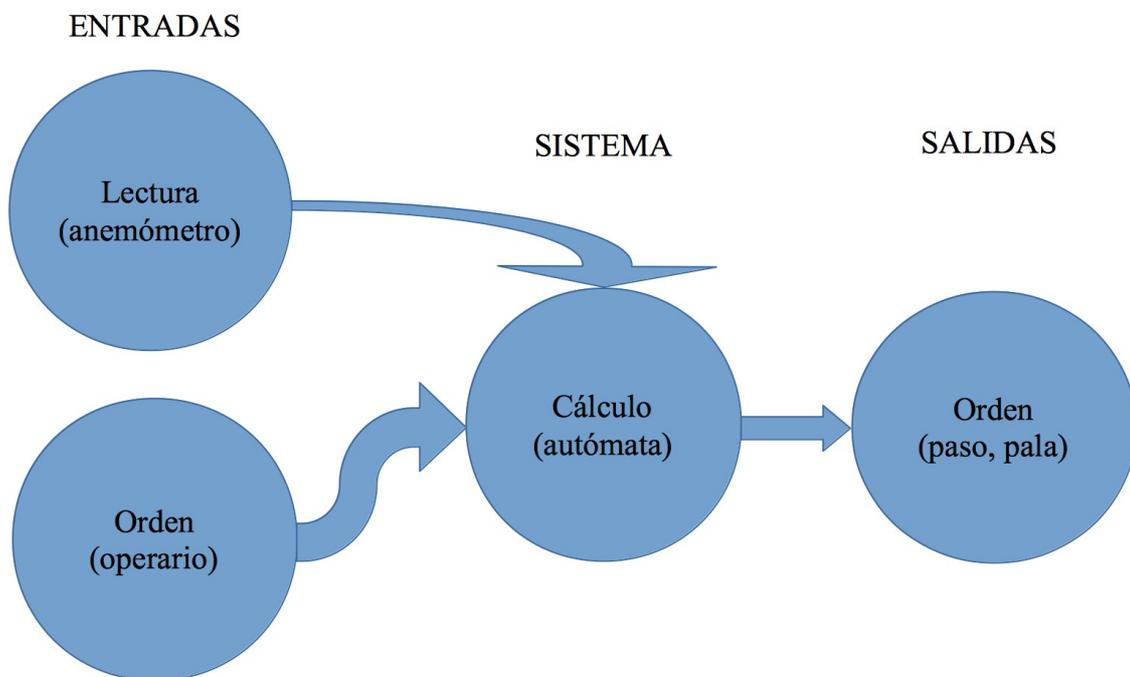


Figura 1: Proceso de control del sistema

Para llevar a cabo esto, en este trabajo se utilizarán los siguientes aparatos eléctricos:

- Pantalla táctil Magelis, de la marca Schneider.
- Autómata programable (PLC), de la marca Schneider.
- Variador de frecuencia, de la marca OMRON.
- Motor trifásico, de la marca ABB.

Finalmente, con este TFG también se conseguirá el objetivo de profundizar en el conocimiento del uso y la programación de autómatas programables como parte de la formación del alumno en los estudios de Grado en Ingeniería en Tecnologías Industriales.

## 2.Motivación

Este TFG se centra en la tecnología de control. Dado el actual desarrollo e importancia que ha adquirido la generación eólica en el mundo, se ha considerado muy oportuno aplicar la tecnología de control a uno de los últimos avances en el diseño de aerogeneradores, como es el control de Paso de Pala.

La energía eólica es una energía limpia y renovable, actualmente supone una fuente competitiva contra las tradicionales fuentes no renovables procedentes de los combustibles fósiles.

En el mundo, las fuentes renovables están adoptando un papel decisivo en la generación energética, ya que, suponen la solución al Problema Energético. En 2014 la producción acumulada de energía eólica ascendió a 370GW, según la GWEC.

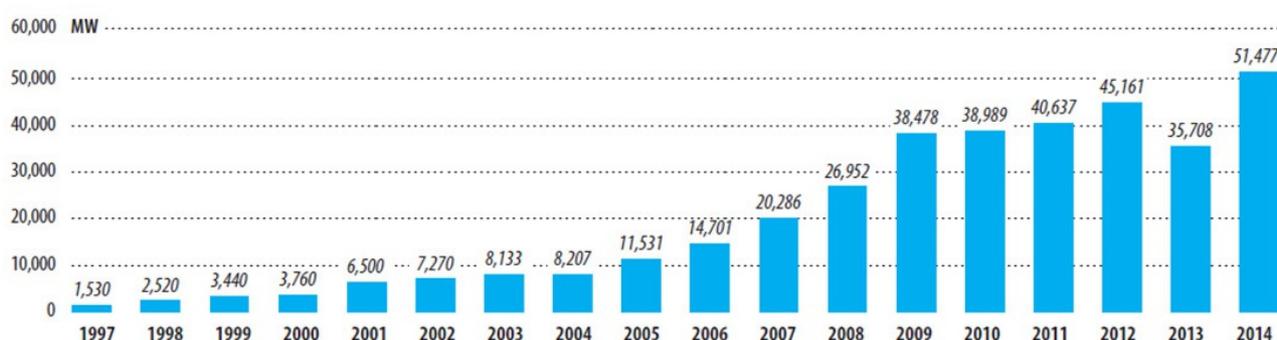


Figura 2: Potencia eólica anual instalada en el mundo. 1997-2014. Fuente: AEE

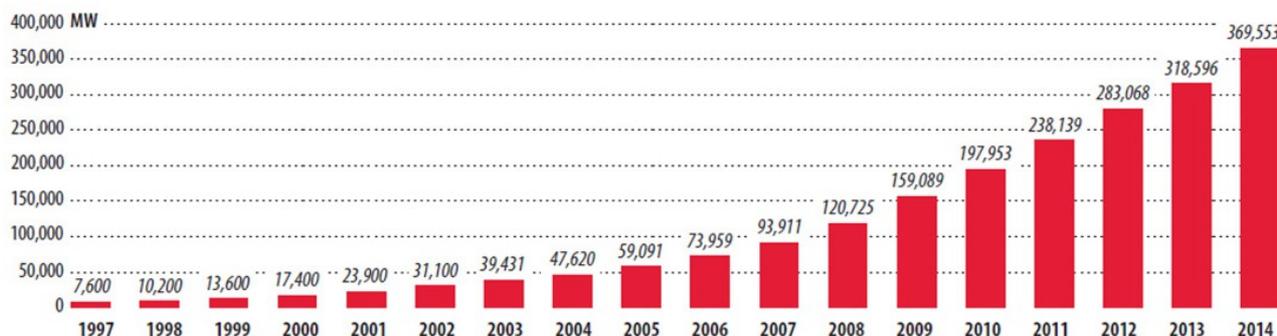


Figura 3: Potencia eólica instalada acumulada. 1997-2014. Fuente: AEE

En España, la segunda fuente de generación energética es la eólica. Cubriendo un 20'4% de la demanda eléctrica del país. España es el cuarto país del mundo en potencia eólica instalada, con 22.986'5MW instalados en 2014. Es decir, es un mercado competente en España y creciente en el mundo.

Es por esto que el control de la potencia otorgada por cada aerogenerador es un aspecto muy importante a tener en cuenta a la hora de diseñar un aerogenerador.

Sabiendo esto, este trabajo se presenta como una forma de aprovechar los conocimientos adquiridos en varias asignaturas del Grado en Ingeniería de Tecnologías Industriales, como: Técnicas de Integración de los Equipos de Automatización y Control de las Instalaciones y Máquinas Eléctricas, Tecnología Eléctrica, Máquinas Eléctricas, Tecnología Energética e Introducción a las Energías Renovables; y así ampliar estos conocimientos en esta materia para perfeccionarlos de cara al Máster en Ingeniería Industrial Especializado en Ingeniería Eléctrica.

# 3. Antecedentes

## BREVE RESEÑA HISTORICA SOBRE EL CONTROL AUTOMÁTICO

El control realimentado es un mecanismo básico a través del cual los sistemas eléctricos, mecánicos, electrónicos, biológicos, etc., mantienen su equilibrio. Para ello utilizan una señal diferencia, obtenida por comparación del valor actual de la variable a controlar del sistema con el valor deseado, como un medio para gobernar el sistema.

Los períodos de la evolución del control vienen marcados por los desarrollos “clave” en la historia de la humanidad. Estos son:

- Desde la preocupación de los griegos y árabes para realizar mediciones exactas del tiempo, hasta el desarrollo de la máquina de vapor. Esto comprende, aproximadamente, desde el año 300 antes de J.C hasta el año 1868 después de J.C. Es el período prehistórico del control. Como ejemplos significativos de esta época, en el año 270 antes de J.C el griego Ktesibios inventó el regulador flotante para un reloj de agua. La Revolución Industrial en Europa es otra época importante en este período. El control era un arte más que una ciencia. En el año 1778 J. Watt completó el diseño de su regulador centrífugo por esferas para regular la velocidad de la máquina a vapor rotativa. Tuvo gran popularidad en Europa. Este fue el primer uso del control realimentado que tuvo reconocimiento general. Pero aún pertenece al período prehistórico.
- En 1868 J.C. Maxwell realiza el primer análisis matemático riguroso de un sistema de control realimentado sobre el regulador de Watt. La técnica empleada consistió en linealizar la ecuación diferencial del movimiento, para hallar la ecuación característica del sistema. El período que va desde 1868 hasta comienzos de 1900 es el “período primitivo” del control automático. Durante este período diferentes ingenieros y científicos estudiaron la estabilidad de los reguladores utilizando ecuaciones diferenciales.
- El periodo que va desde principios de 1900 hasta 1960 es el “periodo clásico”. El desarrollo del teléfono, el comienzo de la comunicación de masas y la primera y segunda guerra mundial contribuyeron de manera notoria al desarrollo de la teoría del control automático. Se desarrollaron los análisis del dominio frecuencial y fue muy importante la contribución de Nyquist, con la teoría de la realimentación para el diseño de amplificadores estables en 1932. De ésta se dedujo el Criterio de Estabilidad, basado en un gráfico polar de la función compleja. Otras importantes contribuciones ayudaron a desarrollar sistemas de control de barcos, desarrollo de armas, aplicaciones al nuevo invento del radar.
- El comienzo de la era espacial y de la computadora en 1957 marca el período que va desde 1960 hasta nuestros días que se conoce como “período moderno” del control automático. la batalla espacial incrementó aun más el interés por el control automático. En un breve período de tiempo, las mayores limitaciones de la teoría del control clásico salieron a la luz, y se introdujeron nuevas e importantes herramientas teóricas, y así comenzó una nueva era en la teoría del control, que se llama control moderno. A este avance ayudó mucho el desarrollo de las actuales computadoras digitales. En 1960 se introducen por primera vez en la industria los autómatas programables. 1968 aparece el primer controlador lógico programable, PLC. En 1970, aparecen los primeros sistemas de control distribuido. La automatización supondría "la segunda revolución industrial".

## BREVE RESEÑA HISTÓRICA DEL CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE O PLC

El *Programmable Logic Controller* (PLC) (Controlador Lógico programable ó Autómata Programable) es un dispositivo electrónico, cuya función es controlar en tiempo real procesos industriales.

El PLC permite la programación de instrucciones en lenguaje no sólo informático, que se repiten de forma cíclica y que reacciona en base a la información recibida por los captadores (sensores), actuando sobre los accionadores (actuadores) que tiene conectados.

Los primeros PLC's aparecieron en EEUU entorno a 1969 y se aplicaron en la industria del automóvil. Se utilizaron para reemplazar los sistemas de control basado en relés debido a su elevado costo, durabilidad y mantenimiento. La empresa Bedford Associates (Bedford, MA) propuso un sistema llamado *Modular Digital Controller* o MODICON a la empresa del sector automovilístico General Motors. El MODICON 084 fue el primer PLC producido comercialmente.

Posteriormente, se desarrolló la capacidad de comunicación entre PLC's, en el año 1973. El primer sistema en hacerlo fue el Modbus de Modicon. En estas fechas se incorporan el uso de microcontroladores, implementando operaciones matemáticas, elementos hombre-máquina, gestión de datos, ampliación de la capacidad de memoria...

En la década de los 80 se incorporan los avances en la tecnología microprocesador, ganando alta velocidad de respuesta, reducción de dimensiones y lenguajes de programación más potentes.

Desde la década de los 90 hasta la actualidad, se incorporan buses de campo 'abiertos', se utiliza la tecnología de ordenador: PCMCIA /ETHERNET... Mejoras por reducción de tamaño y costes y aumento de prestaciones. Introducción de bloques de función y configuración automática.

## 4. Controladores actuales de frenado y potencia de aerogeneradores

Para evitar el problema de los excesos de velocidad se desarrolló el mecanismo de control de paso, este mecanismo permite que el aerogenerador esté protegido frente a vientos fuertes, pero al mismo tiempo facilita un control de la potencia otorgada a la red.

### 4.1 Control de potencia.

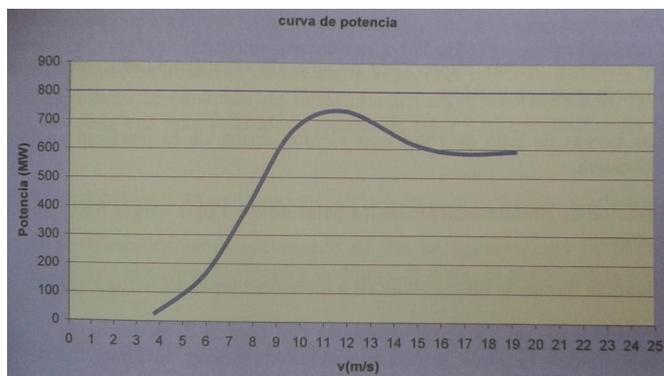
Por la teoría de Betz, la relación entre la potencia extraíble y la potencia incidente (coeficiente de potencia  $C_p$ ) no puede superar el valor de 0,59259. El  $C_p$  sirve para caracterizar el rendimiento de un rotor eólico. El estado actual del arte hace que el valor real del  $C_p$  sea, para el mejor de los casos, del 0,5.

En un aerogenerador, el viento ejerce una fuerza sobre las palas convirtiendo la energía cinética del viento en energía mecánica de giro. La potencia extraída aumenta linealmente con la densidad del aire, con el área de barrido y con el cubo de la velocidad del viento.

En la actualidad se utilizan dos tipos de controladores aerodinámicos para limitar la extracción de potencia al valor nominal de la potencia del aerogenerador: Control por entrada en pérdida aerodinámica y control por cambio de paso.

#### 4.1.1 Control por Pérdida Aerodinámica.

Se le llama "stall" o de paso fijo. Se caracteriza por que las palas son fijas, no pueden girar. La



pala se dimensiona para que el ángulo de paso, para vientos superiores al viento nominal, genere un flujo turbulento en la parte de empuje de la pala, reduciendo las fuerzas impulsoras y por tanto limitando la potencia.

Figura 4: Curva de Potencia de un aerogenerador de paso fijo.  
Fuente: Módulo Energía Eólica, pág. 197

#### 4.1.2. Control por cambio de paso.

Este control actúa frente a un aumento de potencia por encima de la nominal del aerogenerador girando las palas sobre su eje longitudinal, modificando el ángulo de paso, reduciendo así el ángulo de ataque del flujo de aire entrante.

Para velocidades superiores a la nominal, la potencia entregada siempre será la nominal.

Las ventajas de este sistema frente al stall, son:

- Control de potencia en todo el rango de potencia.
- Alcanzan la potencia nominal aún bajo condiciones de baja densidad de aire.

- Mayor producción de energía bajo las mismas condiciones.
- Arranque simple del aerogenerador
- No se requieren fuertes frenos para paradas de emergencia
- Los esfuerzos sobre las palas a vientos altos son menores.
- Posicionamiento de abanderamiento de las palas ante vientos extremos.

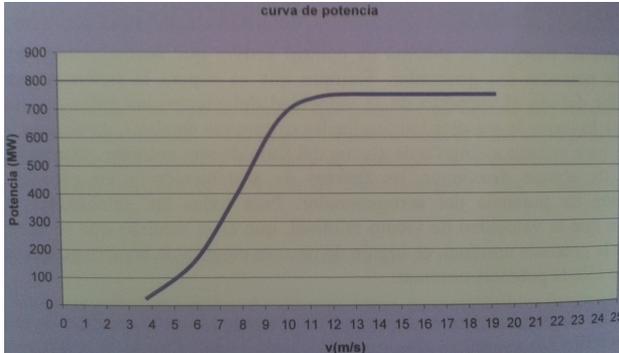


Figura 5: Curva de Potencia de un aerogenerador de paso variable.  
Fuente: Módulo Energía Eólica, pág. 198

## 4.2 Control de Frenado

Hoy en día, existen diversos mecanismos que permiten la parada del aerogenerador cuando la velocidad del viento supera cierto límite (27m/s para 5MW). Entre ellos destacan 3 tipos de mecanismos: frenos mecánicos, mecanismos de orientación y actuadores de paso.

### 4.2.1 Freno Mecánico

El mecanismo de freno mecánico es sencillo y eficaz, un disco solidario al eje y unas zapatas de frenado. La principal desventaja de este mecanismo es el rápido desgaste, y este es el principal motivo por el que no se puede utilizar este mecanismo en grandes aerogeneradores (como el de objeto de estudio). Debido a las elevadas velocidades y cargas inerciales, tratar de frenar un aerogenerador de grandes dimensiones resulta poco seguro. No obstante este mecanismo se utiliza siempre para fijar el rotor una vez está quieto.

Es precisamente la poca fiabilidad de este mecanismo, la que dio pie a la creación de los otros dos mecanismos.

### 4.2.2 Mecanismo de Orientación

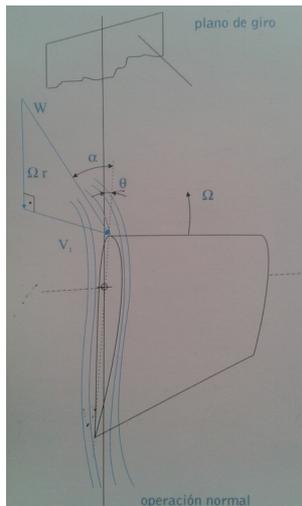
El mecanismo de orientación es un sistema activo y se encarga de girar la góndola entorno al eje de la torre para orientar el plano de giro de las palas de la forma más perpendicular posible a la dirección del viento. Pero del mismo modo puede tratar de llevar al aerogenerador al paro orientando el plano de giro de las palas paralelamente a la dirección del viento. El inconveniente que presenta utilizar este mecanismo (presente en la mayoría de aerogeneradores de barlovento) es la frecuente variación de la dirección del viento, para parar completamente el rotor y activar el freno mecánico, el viento debería mantenerse constante en dirección durante un período de tiempo, suceso poco probable. Este mecanismo en los aerogeneradores de barlovento puede ser hidráulico o eléctrico, siendo este último el más preciso y eficiente, pero más caro.

En los aerogeneradores de sotavento el mecanismo de orientación es un mecanismo pasivo, es decir, es el propio viento el que orienta la góndola, no necesita mecanismos auxiliares, hecho que abarata el coste del aerogenerador, pero esto impide tener un control para frenar el rotor, luego no

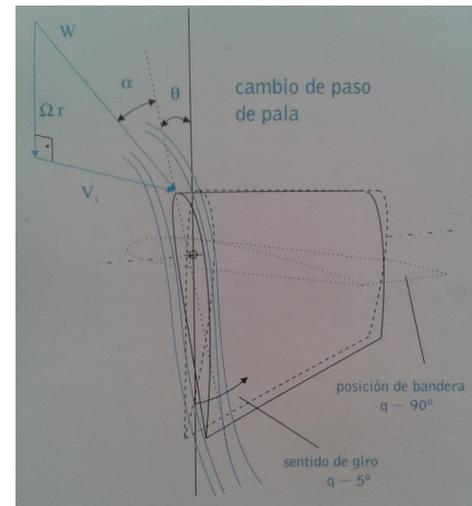
soluciona el problema estudiado.

### 4.2.3 Actuador de paso

El mecanismo de cambio de paso es capaz de hacer girar la pala alrededor de su eje longitudinal. Las fuerzas aerodinámicas se reducen disminuyendo el ángulo de ataque del viento sobre el perfil de la pala (Figuras 6 y 7). Las funciones del actuador de paso son: controlar la potencia del aerogenerador a través de la velocidad de giro del rotor y, a su vez, frenar aerodinámicamente el sistema en caso de excesivo viento o avería.



Figuras 6 (izquierda) y 7 (derecha): Control del Ángulo de Ataque de un perfil aerodinámico modificando el ángulo de paso. Fuente: Sistemas Eólicos de Producción de Energía Eléctrica, pág. 194



Existen 3 tipos de mecanismos de cambio de paso: Hidráulicos, Eléctricos y Pasivos.

#### 4.2.3.1 Actuador de Paso Hidráulico

El sistema de giro consta de un actuador ubicado en la góndola (Figura 8) o en el buje (Figura 9), un grupo de presión hidráulico ubicado en la góndola y el circuito hidráulico que recorre el interior del eje (en caso de estar el actuador en el buje) y une los anteriores elementos. La principal ventaja de este sistema frente al actuador de paso eléctrico es que en caso de fallo por depresión en el circuito o el grupo de presión hidráulicos, el resorte pierde presión también, luego la pala vence al resorte colocándose en posición de bandera. Así se garantiza la parada del aerogenerador en caso de avería.

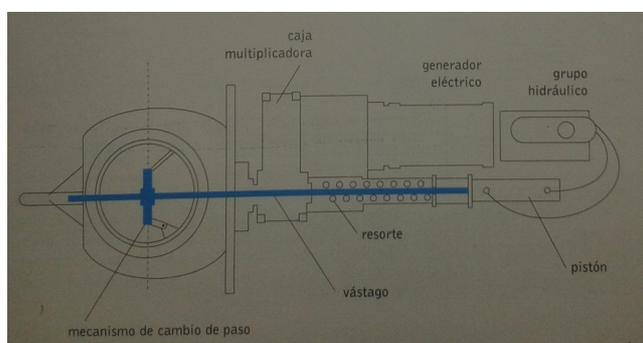


Figura 8: Mecanismo de cambio de paso con el accionamiento en la góndola. Fuente: Sistemas Eólicos de Producción de Energía Eléctrica, pág. 133

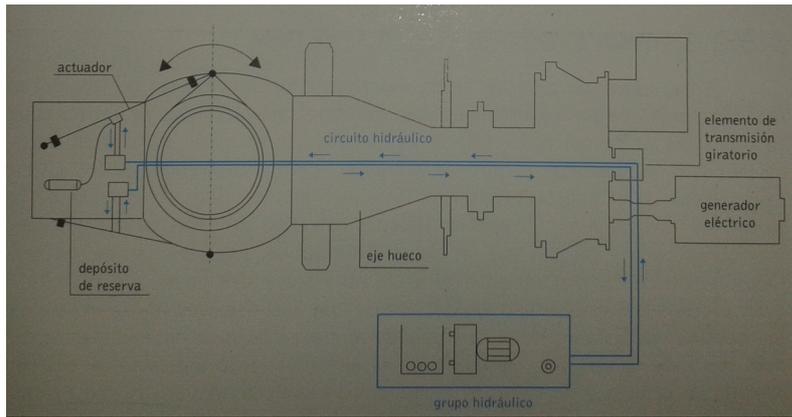


Figura 9: Mecanismo de cambio de paso con el accionamiento en el buje. Fuente: Sistemas Eólicos de Producción de Energía Eléctrica, pág. 133

#### 4.2.3.2 Mecanismos Pasivos de Cambio de Paso

Es un mecanismo que se basa en aprovechar las fuerzas aerodinámicas e inerciales para hacer rotar la pala entorno a su eje. Este método carece de precisión, ya que, depende de las variaciones del viento y, además, no puede llevar la pala a la posición de bandera o de  $45^\circ$  durante el arranque. Pero presentan la gran ventaja de no necesitar un mecanismo eléctrico o hidráulico para controlar la potencia.

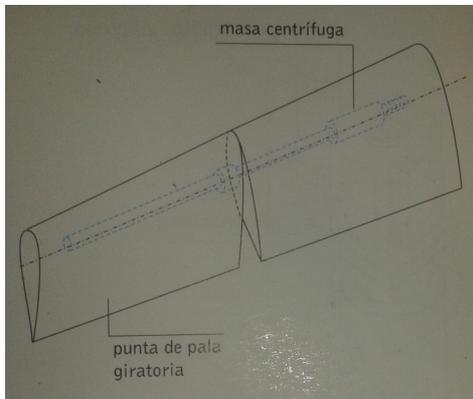


Figura 10: Sistema Pasivo de Cambio de Paso. Fuente: Sistemas Eólicos de Producción de Energía Eléctrica, pág. 135

#### 4.2.3.3 Actuador de Paso Eléctrico

El sistema de giro consta simplemente de un motor eléctrico, esto permite un cómodo montaje (Figura 11). Los sistemas eléctricos suelen ser individuales, ya que, un sistema eléctrico que actúe sobre las 3 palas del aerogenerador es más caro que uno hidráulico y su montaje es más complejo. La principal ventaja es la precisión y que presenta mayor rigidez evitando las pérdidas por estanqueidad del actuador hidráulico. La rigidez se debe a que todo el sistema estará ubicado en el buje, a excepción de los cables de comunicación con el autómata, si la conexión no es inalámbrica.

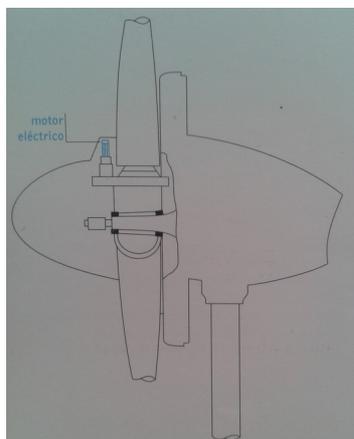


Figura 11: Mecanismo de Cambio de Paso Eléctrico. Fuente: Sistemas de Eólicos de Producción de Energía Eléctrica, pág. 134

## 5.Plantreamiento

Para realizar este trabajo se han desarrollado dos ideas inicialmente para realizar la función del actuador de paso mediante el uso de PLCs.

- Utilizar un actuador de paso hidráulico.

El actuador de paso hidráulico ha sido explicado en el apartado 4.2.3.1, la idea para este trabajo era la de programar un PLC que diera las órdenes de funcionamiento a un variador de frecuencia y este trabajara sobre un motor eléctrico que moviera una bomba hidráulica, para alimentar el circuito hidráulico que moviera el resorte oportuno que girara la pala. Este es el sistema más utilizado.

- Utilizar un actuador de paso eléctrico.

El actuador de paso hidráulico ha sido explicado en el apartado 4.2.3.3, la idea era la misma que para el actuador hidráulico pero de forma que el motor eléctrico actúe sobre un juego de engranajes que mueva la pala.

La segunda posibilidad se presentaba como una alternativa más simple por dos motivos

1º Las variables de paso eran fáciles de implementar en el programa, ya que, la relación velocidad de giro del motor y giro de la pala eran directas a través del juego de engrane.

2º El material del que se disponía para ensayar.

Así mismo, el actuador de paso eléctrico es más preciso y compacto, esto le da más sentido al uso del PLC, ya que, son dos de las ventajas que tiene usar los PLCs, de esta forma se complementan.

### 5.1 Solución escogida

La solución de este trabajo se va a llevar a cabo mediante un PLC que es el cerebro del sistema o maestro, que controla la señal que activa el motor trifásico asíncrono a través de un variador de frecuencia que se encarga de que el motor gire a las revoluciones oportunas y en el sentido deseado. Paralelamente, se va a implementar un terminal táctil que facilite la interacción del operario con el PLC. El PLC, al mismo tiempo transmite la información a la pantalla a tiempo real.

Los principales rasgos positivos de utilizar este sistema son: el funcionamiento seguro, el tamaño, el control programado y los beneficios económicos.

#### **-Funcionamiento Fiable**

Gracias al “robusto” hardware de los PLCs, estos presentan un funcionamiento preciso que aseguran su utilidad bajo las condiciones poco favorables que puede presentar la industria.

El funcionamiento básico del sistema no contempla la interacción del operario nada más que para la puesta en marcha, la parada y las pruebas que se consideren oportunas, esto se ha desarrollado gracias a una interfaz sencilla de la pantalla y una programación que se pone en el lado de la seguridad.

#### **- El Tamaño**

Utilizar un PLC con un motor eléctrico facilita la cómoda instalación del actuador sin depender de circuitos hidráulicos u otros elementos auxiliares, de esta forma, se puede ubicar en el buje junto al variador o en la góndola y comunicarse inalámbricamente con el variador.

**- Control Programado**

La recepción de datos del anemómetro y la respuesta del sistema es automática y continua, luego, no requiere la supervisión de un operario que se encargue de dar la orden al sistema de cambiar el paso de la pala.

**- Beneficios económicos**

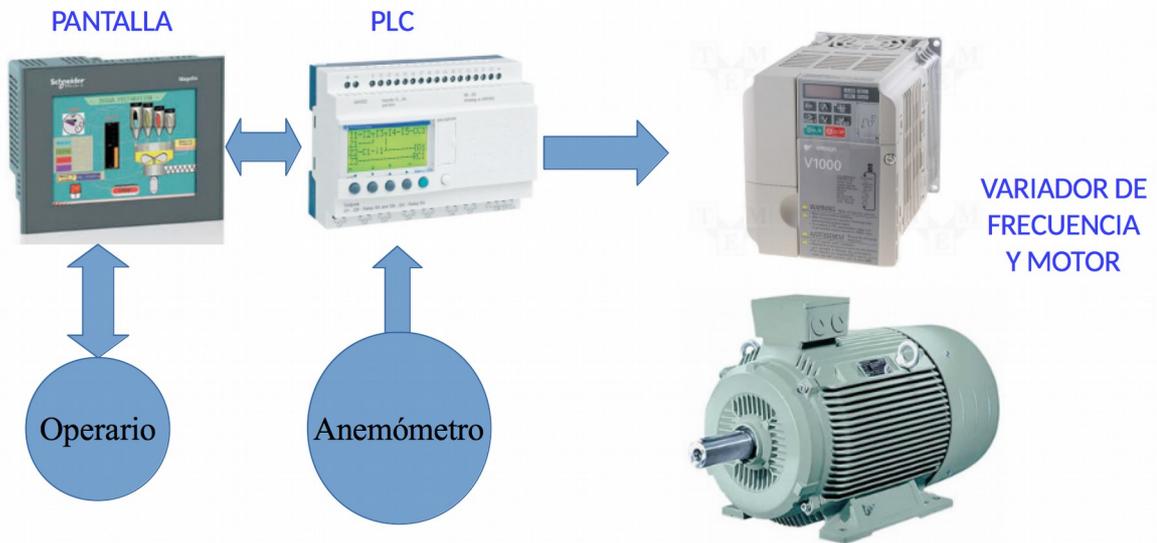


Figura 12: Comunicación maestro-esclavo

La fácil instalación, el poco espacio que ocupan y el poco mantenimiento que requiere este sistema se traduce en unos costes tanto iniciales como a posteriori más bajos.

## 5.2 El PLC

Un PLC (*Programmable Logic Controller*) es un dispositivo electrónico que realiza sus funciones siguiendo la misma secuencia siempre. Dispone de una memoria en la que se puede introducir instrucciones para que este las ejecute dentro de su bucle y llegar así al funcionamiento automatizado.

El bucle es una secuencia de las 4 tareas principales del autómata.

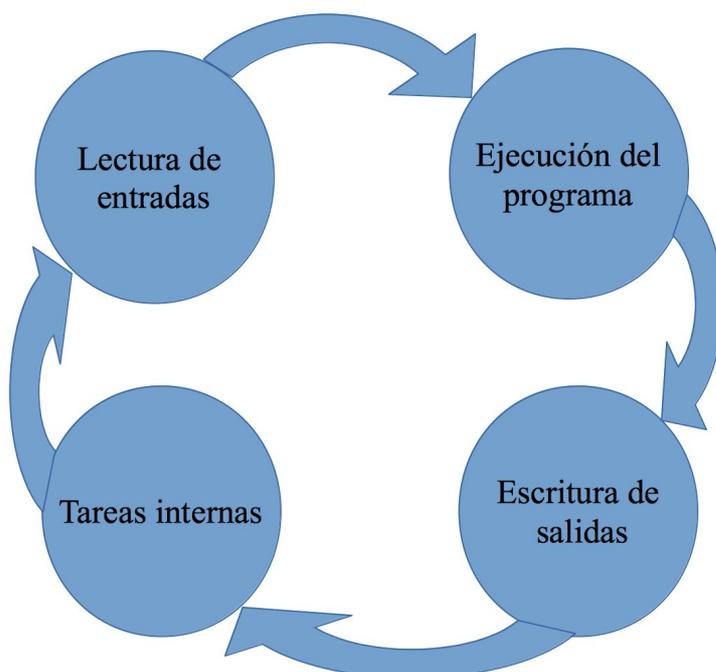


Figura 13: Bucle de trabajo del PLC

**-Lectura de Entradas:**

El autómata comprueba el estado de las entradas digitales y analógicas.

**-Ejecución del Programa:**

El PLC ejecuta las instrucciones según las salidas actualizadas.

**-Escritura de salidas:**

Se modifican los valores de las salidas digitales y analógicas.

**-Tareas Internas:**

Comprobación de errores, almacenamiento de datos internos...

Hay que tener en cuenta que este bucle requiere un tiempo para realizarse. Este tiempo debe ser menor (más rápido) que el tiempo de desarrollo del proceso para el que se instala el PLC, para que haya un correcto funcionamiento. La fase más larga suele ser la de ejecución del programa, luego, hay que tener especial cuidado a la hora de programar.

Los autómatas disponen de una función que se encarga de controlar que no se produzca un error por tiempo de procesamiento, la función "Watchdog". Si una entrada cambia a dos estados distintos durante el desarrollo de la ejecución del programa, hay un estado que no ha sido ejecutado, y el funcionamiento del sistema es erróneo. Esta función cuida que el tiempo de realización del bucle no sea mayor que un tiempo preestablecido por el programador, que elegirá según el proceso.

En este trabajo, el programa hace los cálculos de la variación de paso de forma discreta, es decir, para cada metro por segundo de velocidad del viento, hay un valor de paso, y dado cómo se desarrolla la ejecución del programa no podría darse un error de "timing", ya que, el programa trabaja comparando el paso al que debería ir con el que está en ese momento, de esta forma sólo se podría perder información en el caso de que se pulsara demasiado rápido el botón de posición bandera en la pantalla, o el envío de una señal del Sistema Supervisor. Para evitar esto, en vez de acudir al Watchdog, se limita el mínimo de tiempo que se debe estar pulsando la pantalla y las señales del Sistema Supervisor se programan para ser sostenidas.

## 5.2.1 Selección del PLC

Para cumplir con las especificaciones de equipo del pliego de condiciones se han consultado dos marcas de electrónica que vendan PLCs. OMRON y Schneider Electric.

Ver Anexo 3.

Dado que ambos PLCs estaban disponibles para ensayar y cumplían las especificaciones de equipo del pliego de condiciones, el motivo de la selección del SR3 B261BD de Schneider Electric fue que este permite la programación en lenguaje FBD y Ladder, mientras que el de OMRON sólo permite el lenguaje Ladder. El programa se ha implementado en lenguaje FBD.

## 5.3 Terminal HMI

Desde este dispositivo el operario recibe información y da órdenes al proceso. Se clasifican según el modo de interacción Humano-Máquina, pueden ser, táctiles, a través del ordenador (por Internet o sin él), por comandos...

En este trabajo se ha utilizado un terminal HMI táctil. Existen de distintos tamaños y resoluciones según el fabricante.

Las marcas buscadas para este TFG son, igual que con el PLC, OMRON y Schneider Electric.

Por falta de disponibilidad para el ensayo del HMI de OMRON, se ha elegido el HMI de Schneider Electric.

De los dos marcados en el catálogo (XBT GT1105 y XBT GT1135) porque ambos cumplen el pliego de condiciones, se ha elegido el XBT GT1105, ya que, cuesta en torno a 190€ menos que el otro.

Ver Anexo 3.

## 5.4 El Variador de Frecuencia

Un variador de frecuencia es un aparato electrónico que permite controlar la frecuencia de alimentación de un motor de corriente alterna para conseguir variar la velocidad de este. Según el fabricante, pueden disponer de entradas y salidas, para el control remoto del variador, digitales o analógicas. Según el fabricante se dispone de un software para programarlo y monitorizarlo.

El principio básico de funcionamiento para variar la velocidad de giro de un motor asíncrono se basa en la ecuación de velocidad de un motor trifásico asíncrono.

$$n=60\cdot f/p$$

Ecuación 1: Velocidad de Giro de un motor

Donde n es la velocidad del eje del motor en rpm, f la frecuencia a la que se alimenta el motor y p es el número de pares de polos del motor.

Así, al variar la frecuencia de entrada del motor se consigue variar el régimen de giro.

Para la selección de este Variador se ha buscado en catálogos de las marcas OMRON y Schneider Electric.

Ambos variadores cumplen el pliego de condiciones, para este trabajo se ha utilizado el variador V1000 de la marca OMRON por disponibilidad para ensayar.

Ver Anexo 3.

## 6. Entorno de Programación

Los autómatas programables requieren una programación previa para realizar su algoritmo. En la industria existen varios lenguajes de programación, entre todos, destacan tres: Ladder, FBD y lista de instrucciones. Todos ellos son perfectos para el trabajo en modo prueba-error.

**-Ladder:** También conocido como Lenguaje de contactos o en escalera. Es un lenguaje muy extendido, lineal, de bajo nivel de dificultad y cuyo esquema recuerda a circuitos eléctricos con contactores, interruptores y bobinas, que representan variables de activación para el desarrollo del programa.

**-FBD:** Diagrama de Bloques Funcionales. Es un lenguaje de bajo nivel de dificultad que se basa en la lógica de la electrónica digital para el desarrollo del programa, pero que mezcla en su estructura cables de información con lógica booleana y de números enteros.

**-Lista de instrucciones:** Este lenguaje utiliza el álgebra de Boole para crear una serie de órdenes seguidas.

Igual que para los PLCs, para cada terminal HMI táctil hay un programa distinto según el fabricante, algunos de ellos pueden ser compatibles, pero otros no. Esto hay que tenerlo en cuenta a la hora de elegir un HMI.

En este trabajo se ha utilizado el lenguaje FBD porque el autómata utilizado es de Schneider Electric y el software asociado a él da la posibilidad de usar este lenguaje. El programa utilizado es ZelioSoft2 y el programa utilizado para la programación de la pantalla es VijeoDesigner

### 6.1 ZelioSoft2

ZelioSoft2 es un software de programación de PLCs que da la posibilidad de hacer esto mediante dos lenguajes distintos, Ladder y FBD. En FBD, que es el elegido para este trabajo, la información puede ser transmitida en forma de números enteros o con una lógica booleana de ON/OFF, esta información es procesada por las distintas funciones que pueden ir desde las simples funciones lógicas de la electrónica digital (NOT, OR, AND, XOR, NOR...) hasta algunas funciones más complejas como temporizadores, multiplexores de números enteros, comparadores (Figura 14)... Esta variedad de funciones da una versatilidad a la programación muy buena. El programa permite la elaboración de "macros" (Figuras 14 y 15), que son bloques complejos de funciones más simples que resuelve una función determinada y que permite ser guardada para otros proyectos, y así reducir la carga de programación.

La ventaja de este software frente a otros de la misma índole, es que no requiere de la declaración de variables para trabajar, es un software bastante cómodo en este sentido, para programar sólo hace falta elegir el número y tipo de entradas, hacer lo propio con las salidas y diseñar la estructura funcional de los bloques.

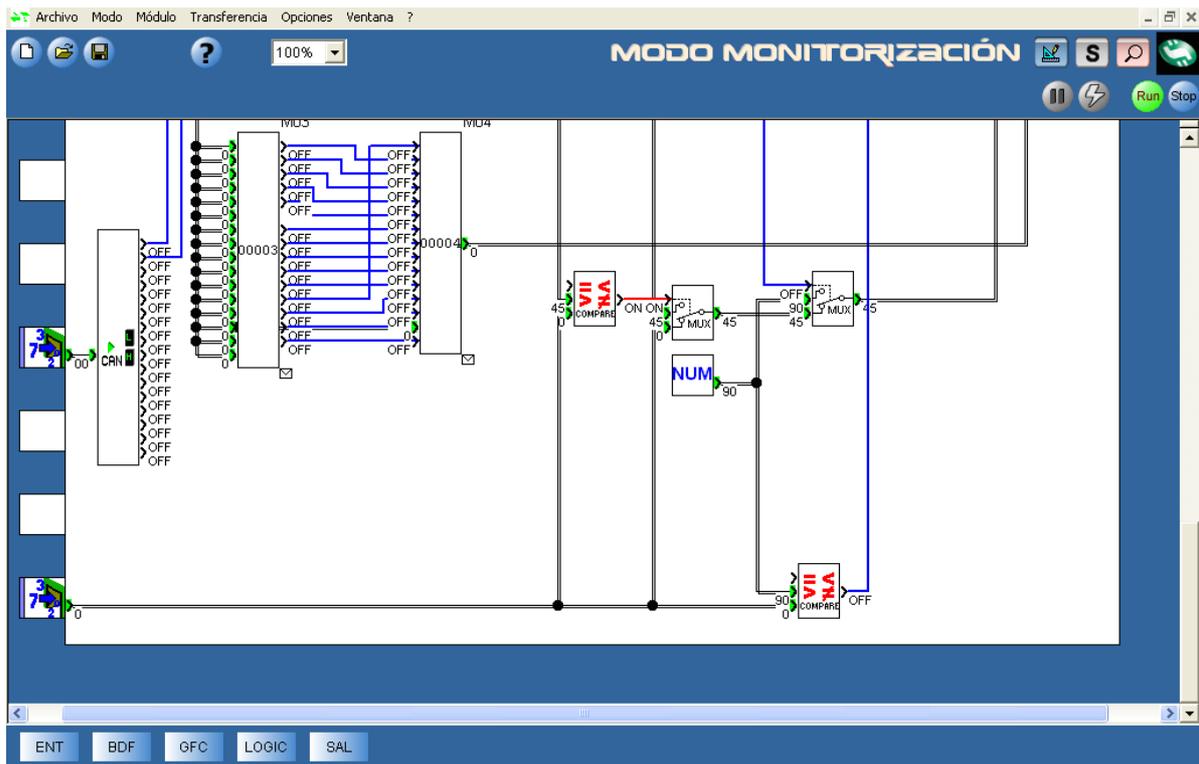


Figura 14: Ejemplo de ZelioSoft2 en FBD con la vista de varios comparadores, multiplexores y de la macro 0003 desde fuera

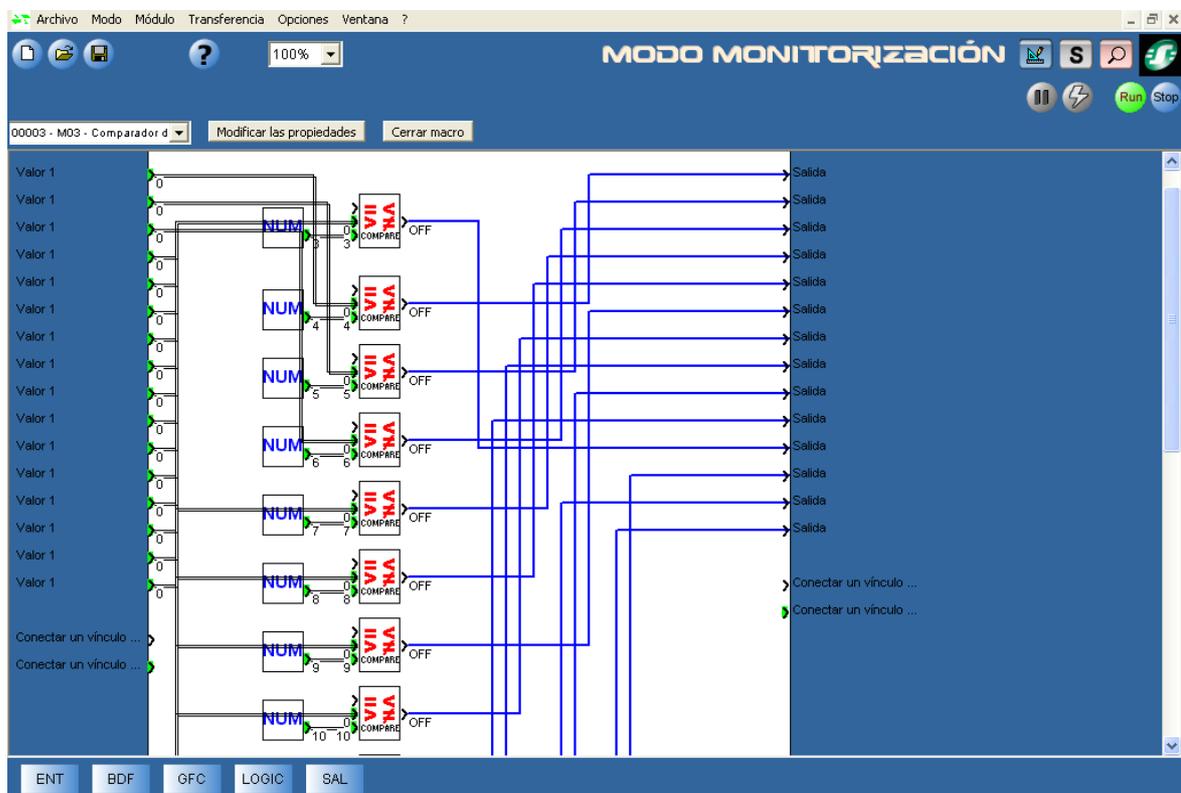


Figura 15: Ejemplo de la macro 0003 desarrollada (desde dentro)

### 6.1.1 Creación de un Nuevo Proyecto

A continuación se describe cómo inicializar un programa en ZelioSoft2 para trabajar con el PLC que se usa en este trabajo, el SR3 B261BD con un equipo de comunicaciones SR3 MBU01BD.

1º Al abrir el ZelioSoft2 se abre esta ventana. Se selecciona “Crear un nuevo programa”.

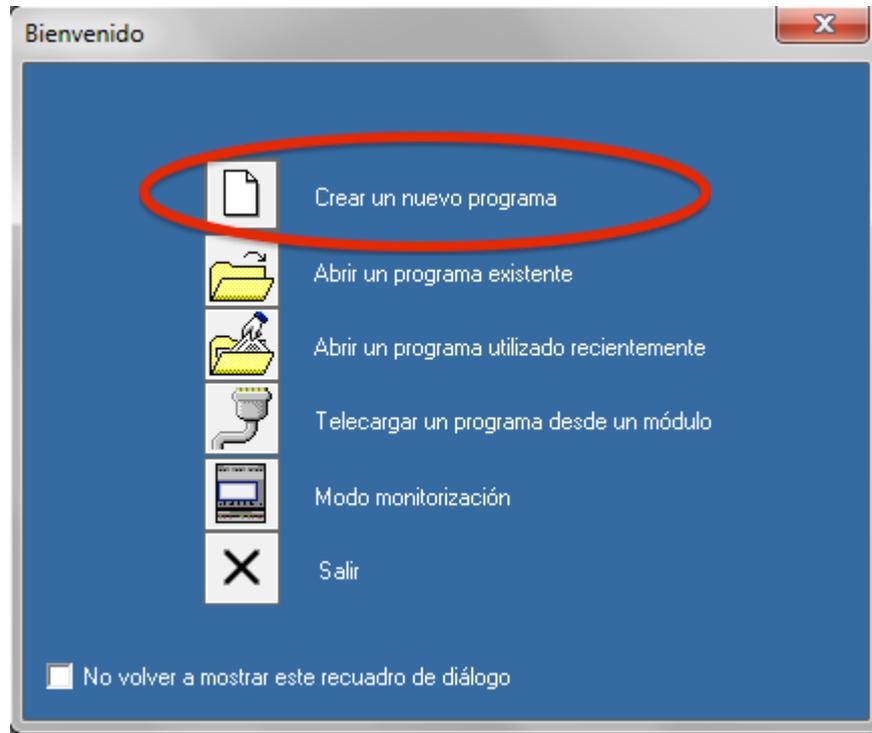


Figura 16: Selección de un nuevo programa

2º Se selecciona la categoría y el tipo de módulo que se desea programar y se presiona “Next”.

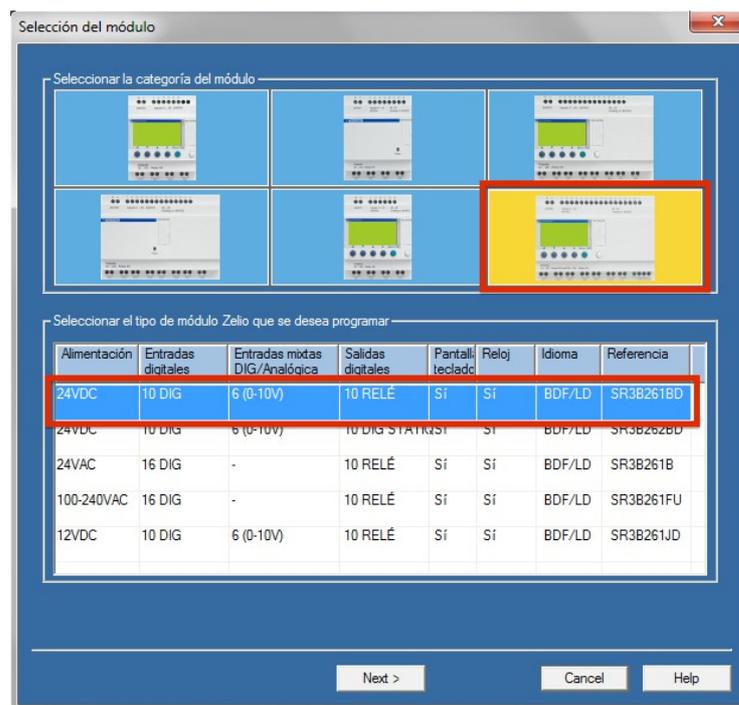


Figura 17: Selección de la categoría y el tipo de módulo

3° Se selecciona la extensión compatible haciendo doble click sobre la deseada o se selecciona y aprieta “Añadir”, comprobamos que ha sido seleccionada y se hace click en “Next”.

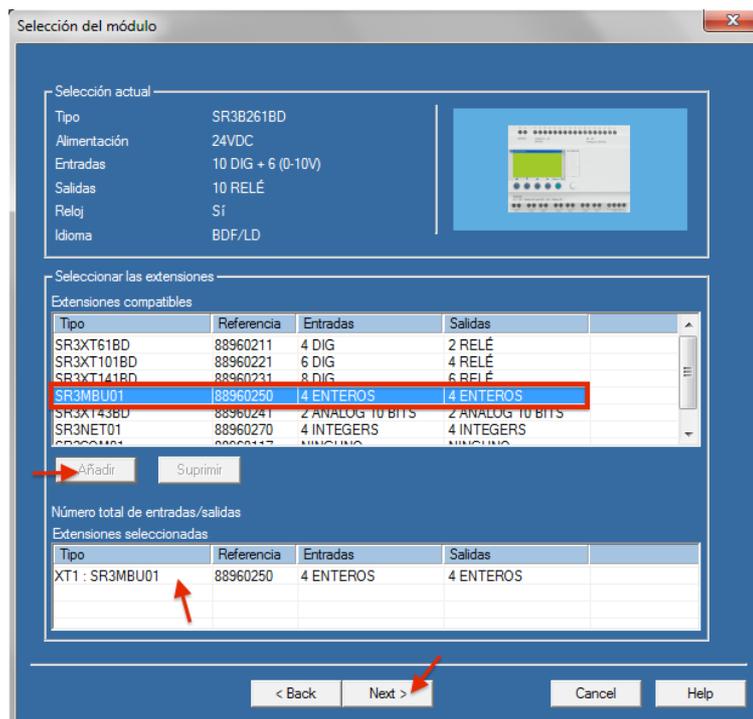


Figura 18: Selección de la extensión

4° Se selecciona el lenguaje de programación y se hace click en “Next”.

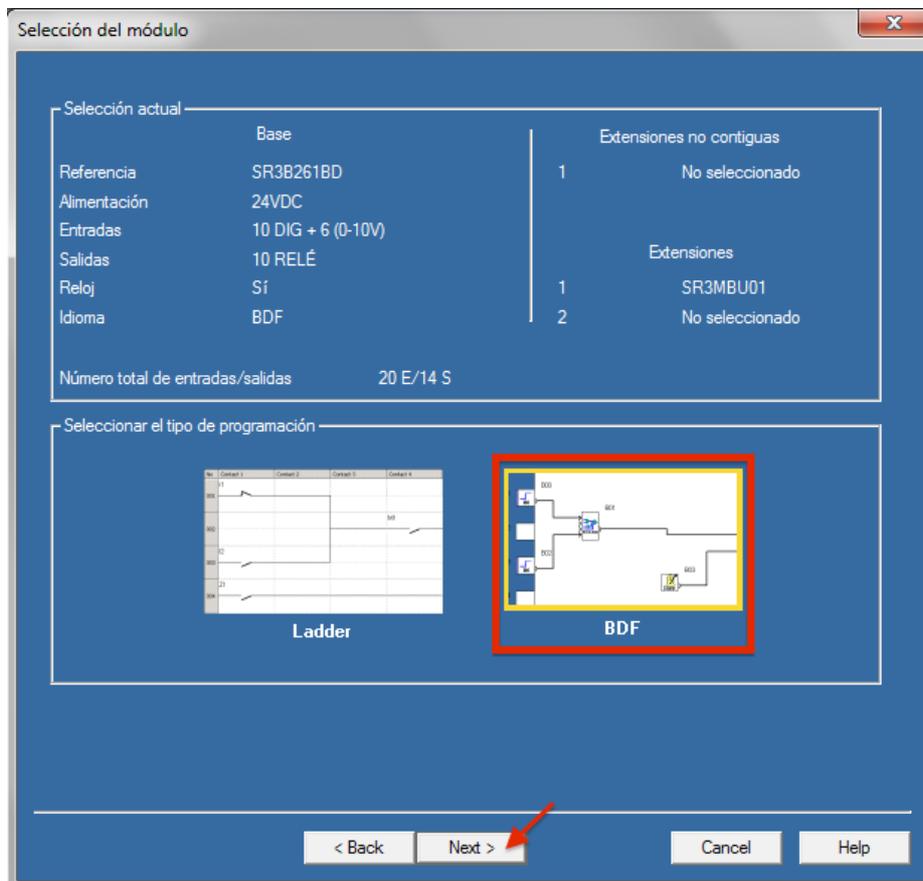


Figura 19: Selección del lenguaje de programación

5° Ya se puede empezar a programar.

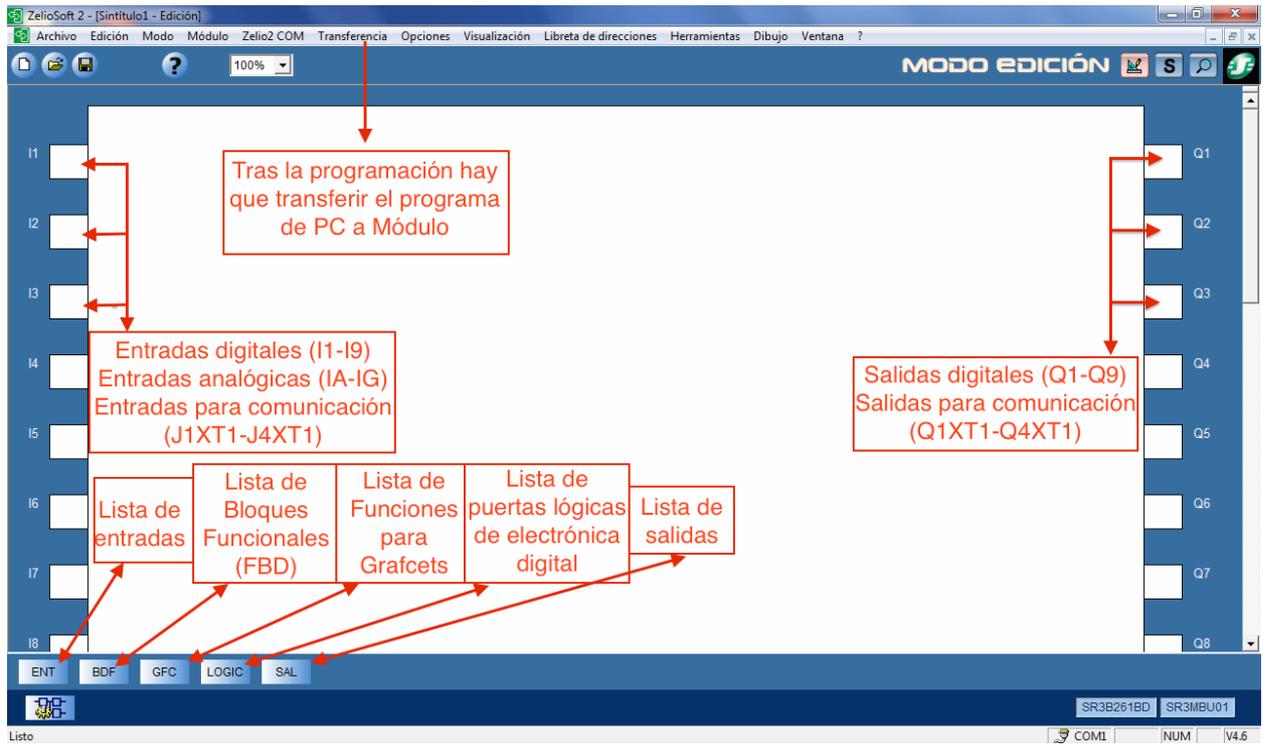


Figura 20: ZelioSoft2 preparado para programar.

## 6.1.2 Funcionamiento del Programa

El proceso básico del programa podría estructurarse en el siguiente diagrama de flujo.

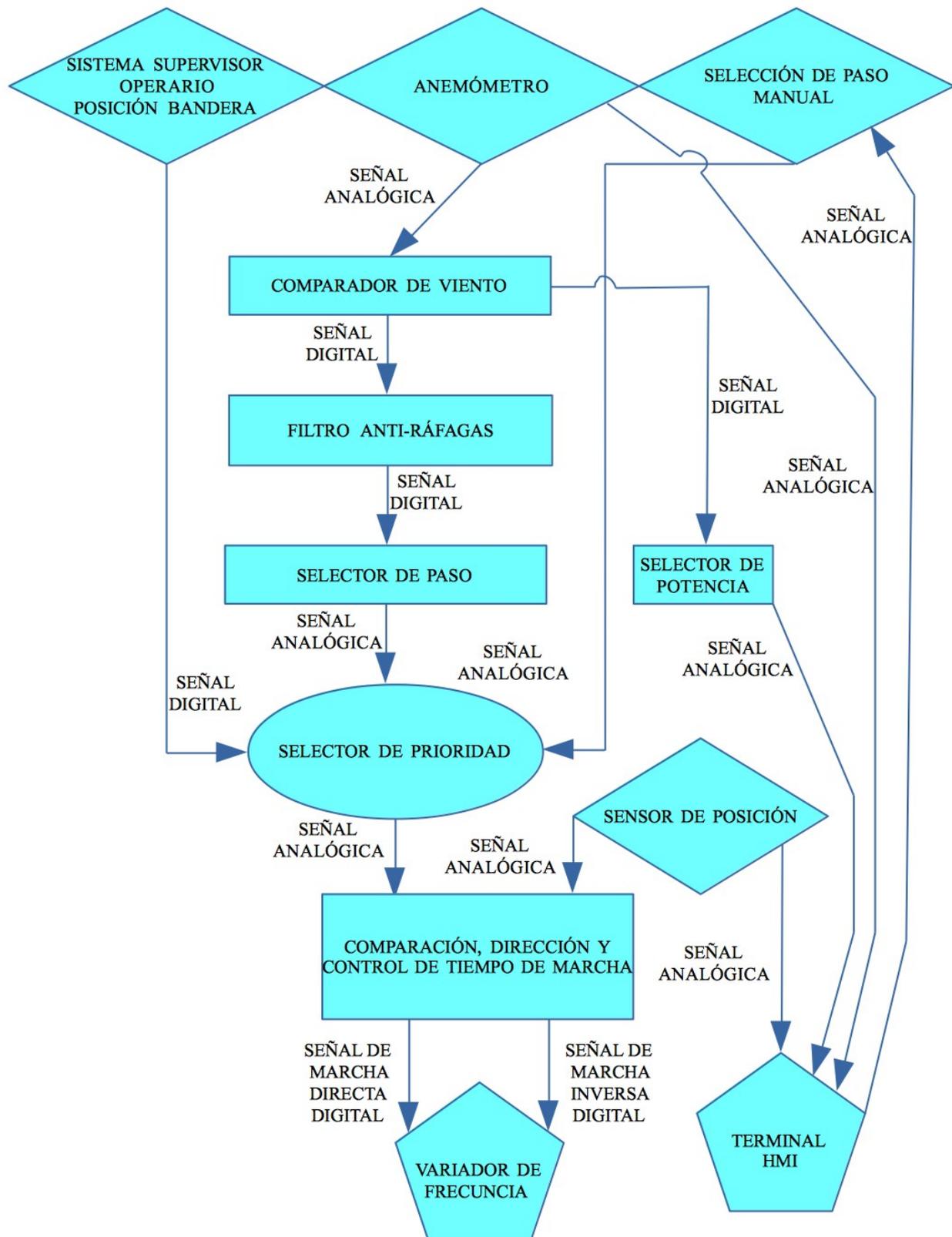


Figura 21: Diagrama de Flujo del Programa del PLC

A continuación se van a detallar los distintos bloques de programación del diagrama anterior.

#### 6.1.2.1 Sistema Supervisor, Operario, Posición Bandera

Este bloque de programación se encarga de enviar a posición bandera la pala, cuando recibe una señal del Sistema Supervisor o del operario a través de la pantalla HMI.

El bloque de programación consta de 2 pares de entradas (2 del Sistema Supervisor y 2 del Operario) y de algunas funciones lógicas que se encarga de enviar la señal digital al bloque de programación Selector de Prioridad para que la pala llegue a adoptar los 90°, así como la que enciende el chivato de posición bandera. Las entradas del Sistema Supervisor son digitales, las entradas del Operario llegan en forma de palabra de comunicación a través del Modbus y son descompuestas bit a bit gracias a la función básica "Conversión Palabra Bit", que hay en el ZelioSoft2.

Ver Anexo 1.

#### 6.1.2.2 Anemómetro

Este Bloque de programación se encarga de generar el valor correcto analógico del viento.

El anemómetro envía una señal analógica de tensión que tiene que ser filtrada para su correcto uso, de forma que el mínimo valor de tensión que marca el anemómetro corresponda a 0m/s y el máximo se ha establecido un valor de 50m/s. Esta conversión es realizada por la función básica "Gain", que hay en el ZelioSoft2. La señal analógica, una vez corregida, se envía a la pantalla, al bloque de programación Comparador de Viento para paso y para potencia.

Ver Anexo 1.

#### 6.1.2.3 Selección de Paso Manual

Este bloque de programación recibe el paso especificado del operario en forma de número entero a través del Modbus y lo envía al selector de prioridad.

Consta de una entrada de comunicación analógica y de un comparador con entrada constante. La señal analógica se envía al bloque de programación Selector de Prioridad y la señal digital que sale del comparador va una puerta lógica OR del bloque de programación Supervisor, Operario, Posición Bandera, para que se encienda el chivato en caso de que el ángulo de paso introducido sea de 90°.

Ver Anexo 1.

#### 6.1.2.4 Sensor de Posición

Este bloque de programación se encarga de generar el valor correcto del ángulo de paso.

El potenciómetro envía una señal analógica de tensión que tiene que ser filtrada para su correcto uso, de forma que el mínimo valor de tensión que marca el potenciómetro corresponda a 0° y el máximo se ha establecido un valor de 90°. Esta conversión es realizada por la función básica "Gain", que hay en el ZelioSoft2. La señal analógica, una vez corregida, se envía a la pantalla y al bloque de programación Comparación, Dirección y Control de Tiempo de Marcha.

Ver Anexo 1.

#### 6.1.2.5 Comparador de Viento

Este bloque de programación se encarga de comparar la velocidad de viento marcada con el anemómetro con unos valores predeterminados para transformar la señal analógica del anemómetro

en distintas señales digitales.

Los encargados de hacer esta tarea son un juego de comparadores y entradas constantes. Las señales digitales se envían al bloque de programación Filtro Anti-Ráfagas. Los bloques de programación Comparador de Viento y Filtro Anti-Ráfagas se encuentran en la misma macro, la macro 0001.

Ver Anexo 1.

#### 6.1.2.6 Filtro Anti-Ráfagas

Este bloque de programación se encarga de distinguir si la variación de viento actual es o no una ráfaga o racha de viento (10s) y que si el viento supera los 27m/s más de 1 minuto o alcance 50m/s, se envíe la señal de posición bandera.

Este bloque de programación está formado íntegramente por temporizadores A/C, función básica del ZelioSoft2 y una puerta lógica. Las salidas digitales de estas funciones se envían al bloque de programación Selector de Paso.

Ver Anexo1.

#### 6.1.2.7 Selector de Paso

Este bloque de programación se encarga de seleccionar el ángulo de paso según le indique el bloque de programación Filtro Anti-Ráfagas.

Está compuesto por multiplexores de números enteros, función básica del ZelioSoft2 y entradas constantes. Los multiplexores están dispuestos en cascada, de forma que cada vez que se alcanza una nueva velocidad de viento (y se determina que no es una ráfaga), se activa el siguiente multiplexor (si aumenta el viento) o se desactiva (si disminuye el viento). Todos estos multiplexores se encuentran en la macro 0002. La salida del último multiplexor (y de la macro 0002), es una señal analógica que se envía al bloque de programación Selector de Prioridad.

Ver Anexo 1.

#### 6.1.2.8 Selector de Prioridad

Este bloque de programación elige, siguiendo un criterio a favor de la seguridad, cuál de los tres bloques de programación de entrada, manda sobre el sistema. Los bloques de programación de entrada de los que recibe información analógica son: Sistema Supervisor, Operario, Posición Bandera; Anemómetro, Ganancia de Corrección; y Selección de Paso Manual.

Este criterio de seguridad da absoluta prioridad a la orden recibida del Sistema de Control o del operario de ir a posición bandera, si uno de éstos da la señal de posición bandera pero el otro no, el sistema siempre irá a posición bandera. El siguiente nivel de seguridad lo discuten el anemómetro y la selección de paso manual. Puesto que la selección de paso manual se ha implementado para poder realizar pruebas, este será el nivel de seguridad más bajo, y por tanto menos prioritario. Si hay un viento que exige un ángulo de paso determinado, el ángulo de paso pedido manualmente no puede ser más bajo que este, de lo contrario, se pondría en juego tanto la seguridad del aerogenerador, como el control de potencia, pudiendo llegar a entregar potencia eléctrica por encima de los valores nominales del generador. Este bloque de programación está compuesto por un par de multiplexores, un comparador y una entrada constante. La salida analógica del último multiplexor se envía al bloque de programación Comparación, Dirección y Control del Tiempo de Marcha.

Ver Anexo 1.

### 6.1.2.9 Comparación, Dirección y Control del Tiempo de Marcha

Este bloque de programación se encarga de distinguir si la variación de paso es creciente o decreciente y en función del resultado calcular cuánto tiempo debe estar mandándose la señal digital de marcha directa o inversa y enviarla.

Está compuesto por las funciones básicas del ZelioSoft2, comparadores, set-reset, suma-resta, multiplicación-división, entradas constantes y temporizadores B/H con consigna exterior. Los bloques de programación Selector de Prioridad y Sensor de Posición, le envían una señal analógica cada uno con la lógica “donde debería estar-donde estoy” respectivamente, y según si el resultado comparado es creciente o decreciente se activa un temporizador de marcha directa o inversa, nunca pudiendo superponerse. Estos temporizadores tienen una entrada analógica que les marca la cantidad de tiempo que deben estar dando la señal de marcha. Esta señal analógica se forma tras pasar por unas funciones de cálculo, por ejemplo, si el nuevo ángulo de paso debe ser mayor que el actual, se le resta el actual al nuevo, dando la cantidad de ángulos que debe corregirse, a este valor se le multiplica por diez y se divide entre la velocidad de giro de la pala en °/s, obteniendo así el tiempo necesario en décimas de segundo que debe estar girando la pala, esta es la cantidad de tiempo que permanecerá activa la salida de dirección de marcha, ya sea inversa o directa. Estas salidas van directas a las salidas del módulo PLC conectadas al variador de frecuencia. Todas estas funciones se encuentran en la macro 0005.

Ver Anexo 1.

### 6.1.2.10 Selector de Potencia

Este bloque de programación cumple la misma función que el bloque de programación Selector de Paso, pero para dar como resultado la potencia otorgada que hay en cada fase de operación.

Está compuesto por multiplexores de números enteros, función básica del ZelioSoft2 y entradas constantes. Los multiplexores están dispuestos en cascada, de forma que cada vez que se alcanza una nueva velocidad de viento (y se determina que no es una ráfaga), se activa el siguiente multiplexor (si aumenta el viento) o se desactiva (si disminuye el viento). Todos estos multiplexores se encuentran en la macro 0004. Aunque no se ha detallado en el diagrama de flujo, las señales digitales de activación de los distintos multiplexores, no provienen de la misma macro que de la que provienen las señales que van al bloque de programación Selector de Paso (macro 0001), en cambio vienen de la macro 0003, que es igual que la macro 0001, pero con otros valores de comparación. La salida del último multiplexor (y de la macro 0004), es una señal analógica que se envía a la salida analógica de comunicación con el terminal HMI.

Ver Anexo 1.

### 6.1.2.11 Señal de Mantenimiento

Este bloque de programación se encarga de permitir que el operario pueda realizar comprobaciones de funcionamiento del actuador de paso.

Consta de una entrada digital tipo interruptor, un multiplexor y una entrada constante. Cuando el Sistema Supervisor considera que se puede realizar la operación de mantenimiento (rótora bloqueado, poco viento...) manda una señal que oculta el valor del anemómetro y sustituyéndolo por otro, de forma que “engaña” al bloque de programación Comparador de Vientos, permitiendo así que el paso varíe según considere el operario.

En Anexo 1, hay una descripción más detallada de las distintas funciones básicas del ZelioSoft2 utilizadas en este trabajo.

## 6.2 VijeoDesigner

El VijeoDesigner es un software de Schneider Electric destinado a la programación de pantallas táctiles. En este trabajo se ha utilizado una pantalla táctil Magelis XBT GT de Schneider Electric y se ha programado con este software. El principal uso es el de supervisión y control de distintos procesos industriales, esto se permite ya que estas pantalla llevan un control directo y continuo de las distintas variables del proceso, es decir, la ejecución se lleva a cabo en tiempo real. Se



puede programar para todo tipos de procesos, desde los más simples que dependan sólo de interruptores, hasta más complejos que permitan la introducción de cantidades para distintos procesos. Un ejemplo en este trabajo es que desde la pantalla se puede pedir la posición bandera con un interruptor o se puede pedir un ángulo de paso en particular (Figura 22).

Figura 22: Ejemplo de distintas funciones de programación con VijeoDesigner.

### 6.2.1 Creación de un Nuevo Proyecto

A continuación se describe cómo inicializar la programación en VijeoDesigner.

1º Al abrir el VijeoDesigner aparece esta ventana. Se puede nombrar el proyecto, explicarlo y asignar una contraseña. Se pulsa "siguiente".



Figura 23: Nombramiento del nuevo proyecto.

2º Se selecciona del tipo terminal táctil y el tamaño de este. “Siguiente”

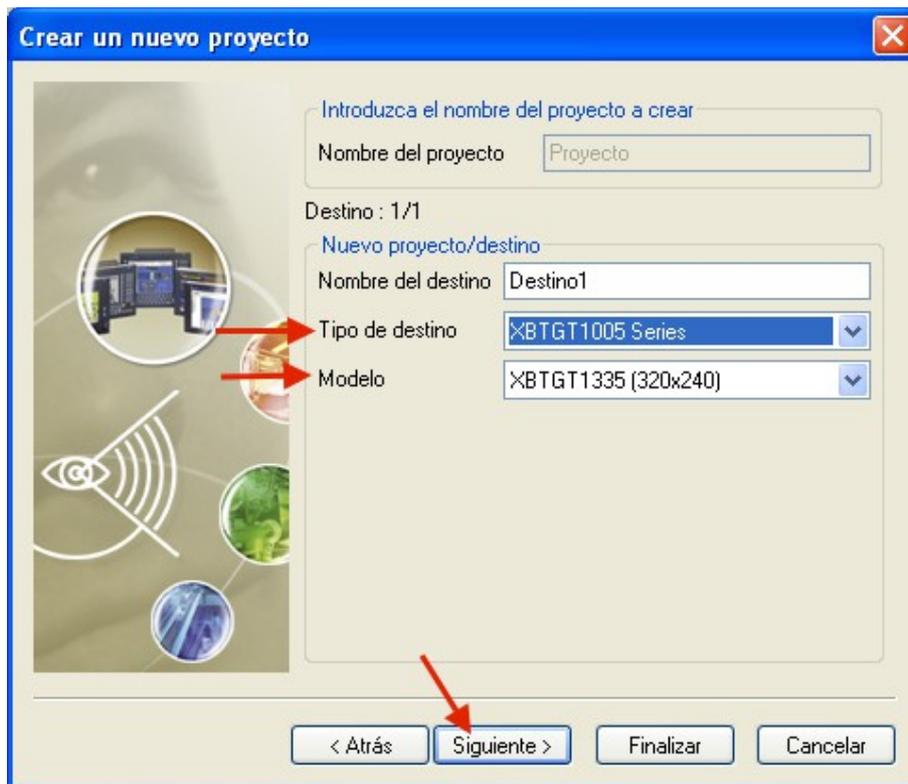


Figura 24: Selección del tipo de de pantalla y su tamaño.

3º Se finaliza la inicialización. Pero aún no se puede empezar a trabajar.



Figura 25: Finalización de la creación de un nuevo proyecto.

4° Ahora se debe elegir el Administrador de entradas y salidas del que se disponga. En el Navegador se hace "click" derecho sobre el Administrador de Entradas y Salidas.

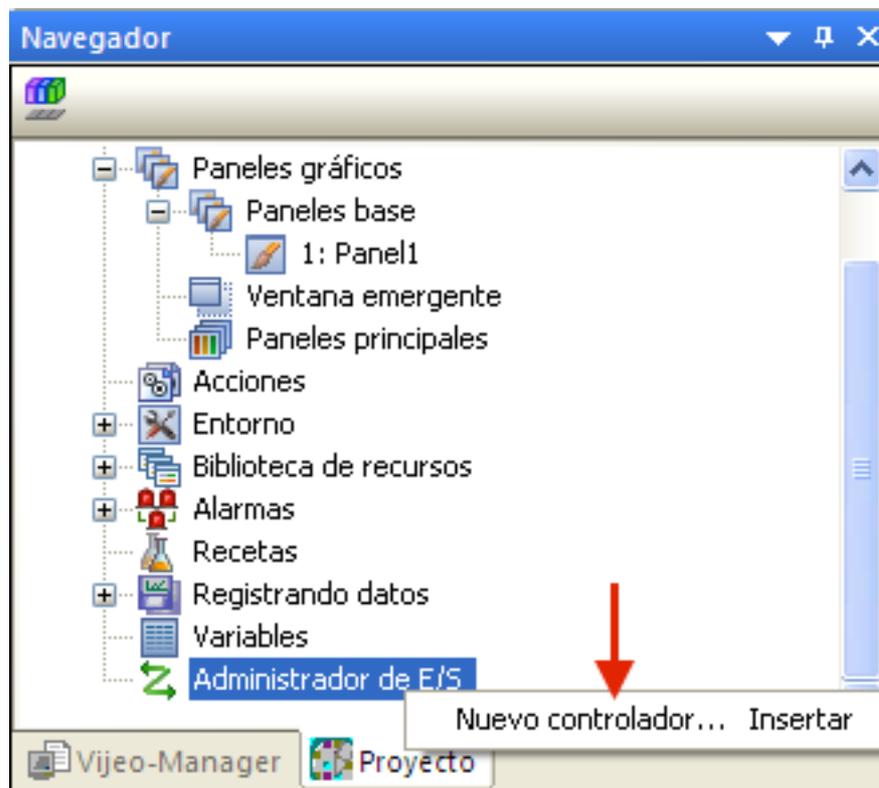


Figura 26: Designación del Administrador de Entradas y Salidas

5° Se selecciona el controlador y el equipo. En nuestro caso es el Modbus RTU.



Figura 27: Selección del Controlador.

6° En el navegador, ha aparecido el administrador que se ha escogido. Se hace “click derecho” en el equipo escogido y se selecciona “Configuración”.

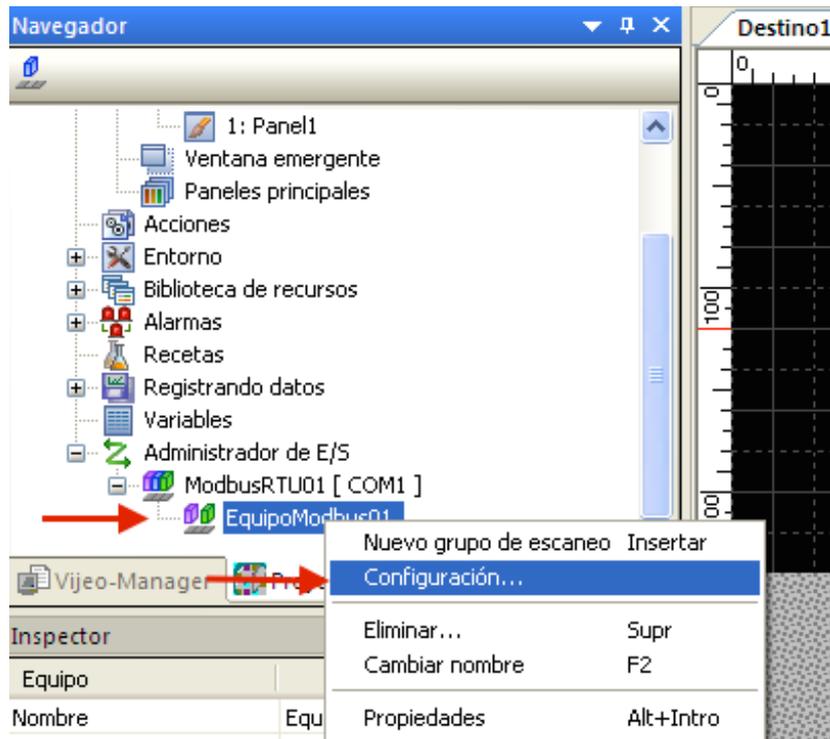


Figura 28: Configuración del controlador.

7° Por último se selecciona la sintaxis de comunicación.



Figura 29: Selección de la sintaxis de comunicación.

8° Ya se puede empezar a programar.

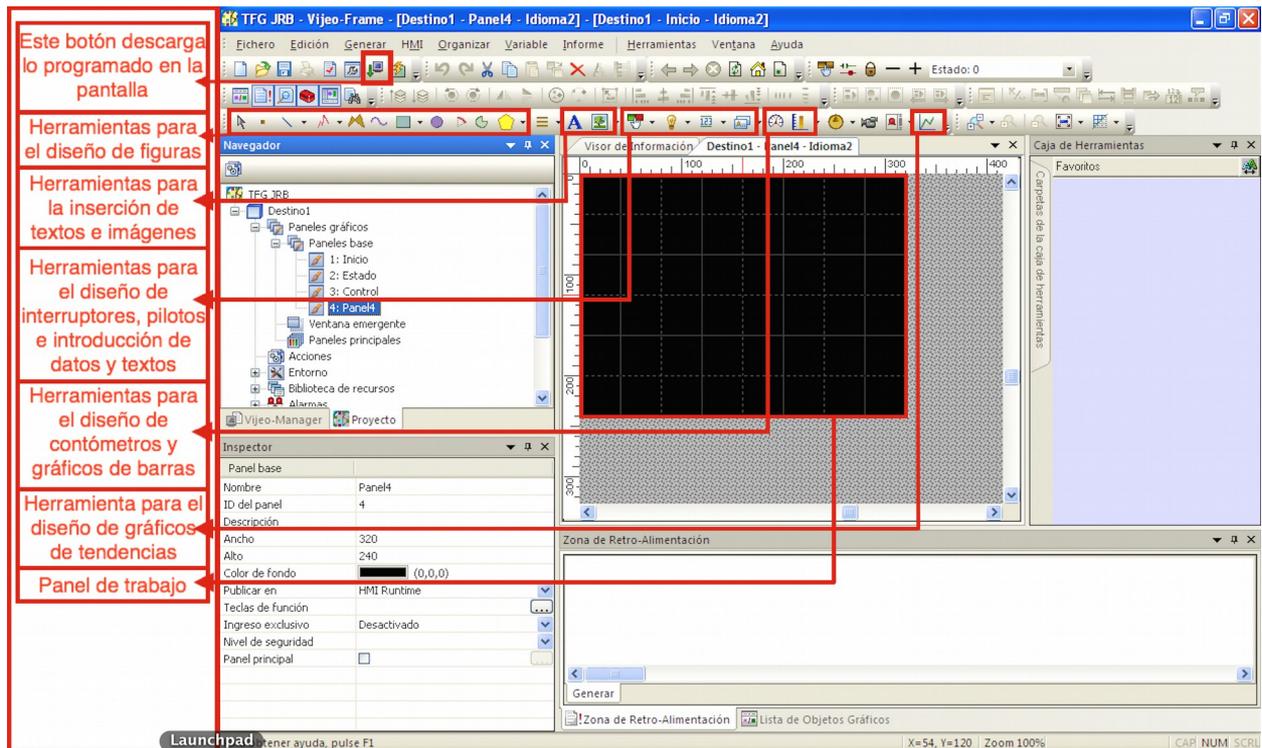


Figura 30: Elementos de programación de VijeoDesigner.

### 6.2.2 Funcionamiento de la Pantalla

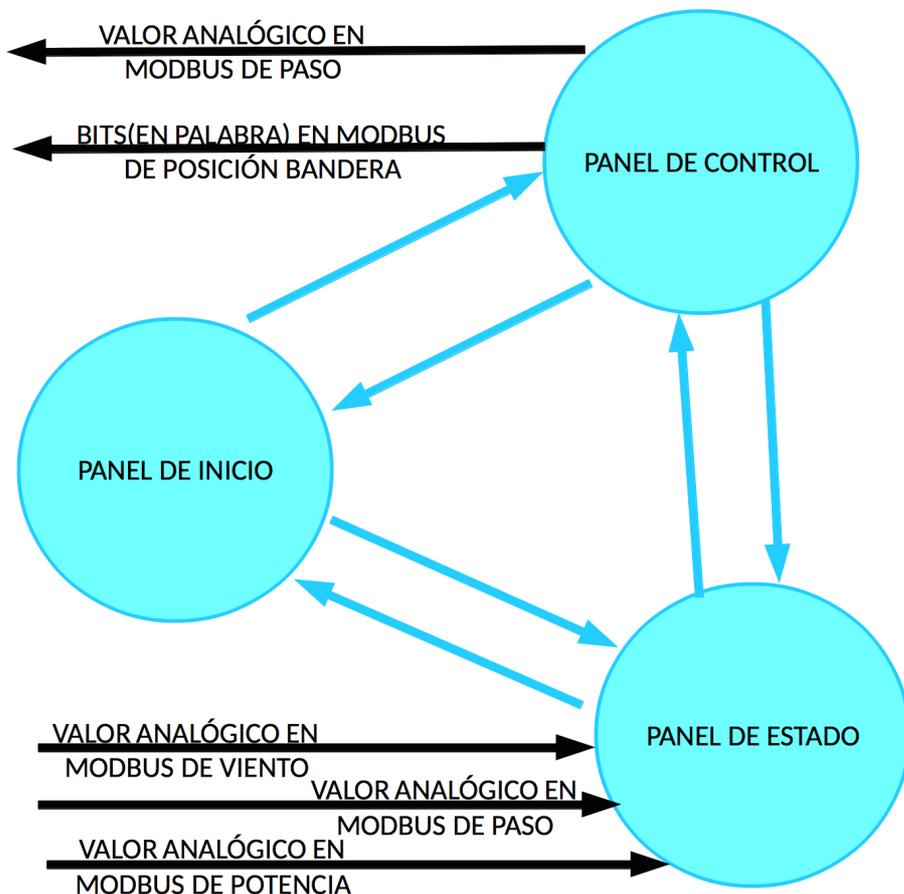


Figura 31: Diagrama de Flujo del Terminal HMI

Los paneles son el lugar donde el programador añade figuras, elementos de interacción... y que después serán visualizados por pantalla.

#### 6.2.2.1 Panel de Inicio

En este panel el operario tiene la posibilidad de elegir entre utilizar el terminal HMI en Inglés o Español, o seleccionar al panel de trabajo que sea requerido, panel de estado o panel de control.

Ver Anexo 2.

#### 6.2.2.2 Panel de Estado

En este panel el operario puede observar a tiempo real las distintas variables del sistema: ángulo de paso, velocidad del viento y potencia entregada por el aerogenerador, en este panel el operario no podrá modificar valores de estas variables. El operario puede volver al panel de inicio para cambiar de idioma o ir al panel de control para interactuar con el sistema.

Ver Anexo 2.

#### 6.2.2.3 Panel de Control

Mediante este panel, el operario, puede realizar las operaciones de mantenimiento de comprobación de funcionamiento del actuador de paso, introduciendo por pantalla el valor de ángulo de paso necesario para llevar a cabo estas tareas y dirigiendo a posición bandera a través de los botones táctiles.

Ver Anexo 2.

### 6.2.3 Variables del Programa

El VijeoDesigner funciona mediante un sistema de variables. Las variables son registros en la memoria que almacenan valores. Estas variables se pueden asociar a interruptores, gráficas visualizadores de datos, pilotos... Las variables pueden asociarse a un dispositivo externo de la pantalla, como el PLC, por lo tanto, hay variables internas y externas.

Para declarar una variable, hay que pulsar sobre la opción "variables" en el navegador, después pulsar el botón de nueva variable y se abre la ventana de la Figura 40, ahí podemos declarar el Nombre de la variable, el tipo de datos que transporta y la dirección en el dispositivo de destino, si la vamos a asociar a algún PLC u otro equipo.

En este trabajo para enviar información al PLC se ha utilizado variables discretas para los interruptores de posición bandera y enteras para el valor de paso introducido por pantalla (Ver Anexos de Programación, Anexo 2). También han sido utilizadas variables enteras para recibir información del PLC como la Potencia, el paso actual y el viento marcado por el anemómetro.

Las direcciones de las variables que se van a asociar a algún dispositivo pueden componerse por un dato de dirección o dos, según si son variable entera o discreta, respectivamente. En la variable entera, lleva un solo dato de dirección ya que se envía a través del Modbus el valor que llegará tal como se ha escrito por pantalla al PLC. En la variable discreta hay que definir tanto la dirección a la que se va a enviar, como la dirección del bit (de los 16 que puede transportar esa dirección) que corresponderá esa variable.

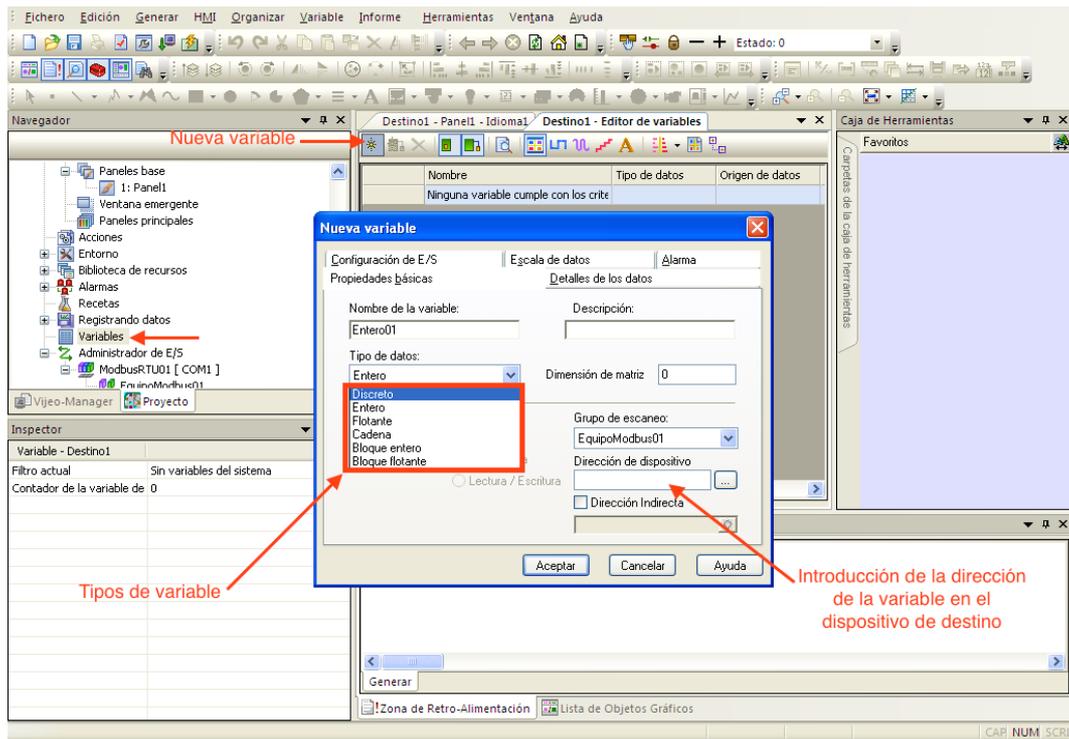


Figura 32: Declaración de Variables

# 7. Instalación del Variador de Frecuencia

Para empezar la instalación del variador de frecuencia se conectará el este a la red, podríamos hacer una conexión monofásica o trifásica, pero ya que los circuitos para servicios auxiliares en los aerogeneradores están alimentados habitualmente de 400V a 690V, utilizaremos la conexión trifásica a 400V y 50Hz. Así mismo conectaremos las tres fases del motor asíncrono y la pertinente conexión a tierra.

## Trifásico de Clase de 400 V (CIMR-V□4A0001 ~ 0038)

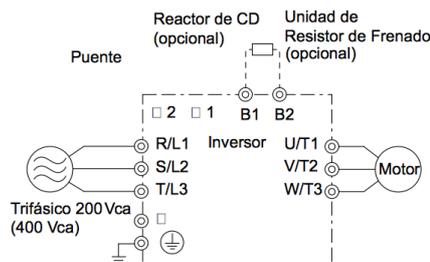


Figura 33: Esquema Eléctrico de Alimentación del Variador de Frecuencia.

Fuente: Manual de Instrucciones V1000 OMRON

Seguidamente configuraremos el modo de control y realizaremos el autotuning. El modo de control que se busca es el que otorgue al sistema la mayor precisión de velocidad, el autotuning o auto ajuste permite al variador elegir los parámetros de trabajo que mejor se ajusten a nuestro motor.

### ◆ Selección de modo de control (A1-02)

Hay disponibles tres modos de control. Seleccione el modo de control que mejor se adapte a las aplicaciones que controlará el variador.

Modo de control	Parámetro	Aplicaciones principales
Control V/f	A1-02 = 0 (por defecto)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Aplicaciones generales de velocidad variable, en concreto resulta útil para el funcionamiento de varios motores desde un solo variador.</li> <li>Al reemplazar un variador cuya configuración de parámetros se desconoce.</li> </ul>
Control vectorial lazo abierto (OLV)	A1-02 = 2	<ul style="list-style-type: none"> <li>Aplicaciones generales de velocidad variable</li> <li>Aplicaciones que requieran una elevada precisión y alto control de velocidad</li> </ul>
Control vectorial lazo abierto PM	A1-02 = 5	<ul style="list-style-type: none"> <li>Aplicaciones de par de carga reducido que empleen motores de imanes permanentes (SPM, IMP) y ahorro de energía.</li> </ul>

### ◆ Autotuning (T1-□□)

Con el autotuning se configuran automáticamente los parámetros del variador relativos a para los datos de motor. Se admiten tres modos distintos.

Modo de ajuste	Parámetro	Modo de control	Descripción
Autotuning dinámico	T1-01 = 0	OLV	Se realiza al configurar el variador para operar en control vectorial lazo abierto. El motor debe poder girar sin carga durante el proceso de ajuste con el fin de lograr una alta precisión.
Ajuste de resistencia de terminal	T1-01 = 2	OLV, control V/f	Se realiza en control V/f si el cable del motor es largo o si se ha cambiado el cable.
Autotuning dinámico para ahorro de energía	T1-01 = 3	Control V/f	Se realiza cuando se utiliza ahorro de energía o búsqueda de velocidad. El motor debe poder girar sin carga con el fin de lograr una alta precisión de ajuste.

### ⚠ PRECAUCIÓN

Nunca toque el motor hasta que el autotuning haya finalizado. Aunque es posible que el motor no gire en el autotuning, se sigue suministrando tensión al motor durante el proceso de ajuste.

Figura 33: Parámetros de Selección del Modo de Control.  
Fuente: Manual de Instrucciones V1000 OMRON

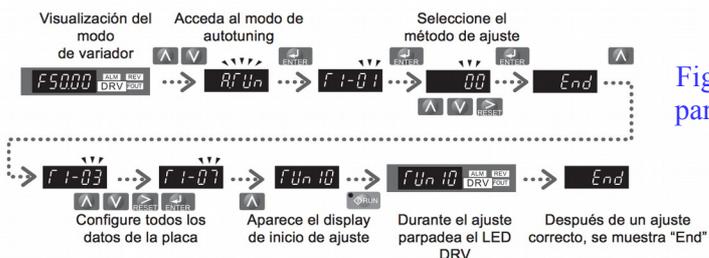


Figura 34: Proceso de selección de los parámetros para realizar el autotuning.  
Fuente: Manual de Instrucciones V1000 OMRON

A continuación se programará el variador para el funcionamiento a dos cables. Este

funcionamiento es la clave de este trabajo. Del PLC llegan dos salidas digitales al variador, una da la orden de marcha directa y otra la de marcha inversa. Cuando el anemómetro marca una determinada velocidad del viento el PLC calcula el paso oportuno y da una señal de marcha en el sentido correcto el tiempo necesario hasta llegar al paso deseado, la velocidad de giro que marca el variador es fija, luego, sólo hace falta calcular el tiempo necesario para llegar a ese paso deseado. Cuando una salida da la señal de marcha en un sentido el motor girará en este sentido, al desactivarse esa señal, el motor parará.

#### Uso de una secuencia de 2 cables

No.	Nombre del Parámetro	Descripción	Rango de Configuración	Configuración Predeterminada
o2-03	Valor Predeterminado de Parámetro de Usuario	Permite el almacenamiento de configuraciones de parámetros como una Selección de Inicialización de Usuario. 0: Guardado/No configurado 1: Establecer Valores Predeterminados - Guarda la configuración de parámetros actual como la configuración predeterminada. 2: Borrar Todo - Borra la configuración de usuario guardada actualmente. Después de guardar el valor de configuración del parámetro de usuario, los elementos de 1110 (Inicializar Parámetro de Usuario) se muestran en A1-03 (Valor Predeterminado de Parámetro de Usuario).	0 a 2	0
A1-03	Inicializar Parámetros	Selecciona un método para inicializar los parámetros. 0 : No inicializar 1110 : Inicialización de Usuario (El usuario primero debe programar la configuración deseada y almacenarla usando el parámetro o2-03) 2220: Inicialización de 2 cables (parámetro inicializado antes del embarque) 3330: Inicialización de 3 cables 5550: Restablecimiento de falla OPE4	0 a 5550	0

Figura 35: Parámetros de Selección del Modo de Funcionamiento.

Fuente: Manual de Instrucciones V1000 OMRON

#### ■ Terminales del circuito principal

Terminal	Tipo	Función
R/L1, S/L2, T/L3	Entrada de alimentación del circuito principal.	Conecta la potencia de línea al variador. Los variadores con alimentación de entrada monofásica de 200 V sólo utilizan terminales R/L1 y S/L2 (T/L3 no se utiliza).
U/T1, V/T2, W/T3	Salida del variador	Se conecta al motor.
B1, B2	Resistencia de frenado	Para conectar una resistencia de frenado o unidad de resistencia de frenado.
+1, +2	Conexión de la reactancia de c.c.	Puenteado de fábrica. Quite la conexión al instalar una reactancia de c.c.
+1, -	Entrada de alimentación de c.c.	Para conectar una fuente de alimentación de c.c.
 (2 terminales)	Terminal de tierra	Para clase 200 V: conexión a tierra con 100 Ω como máximo Para clase 400 V: conexión a tierra con 10 Ω como máximo

#### ■ Terminales del circuito principal

En la figura siguiente se muestra la disposición de los circuitos de control. El variador dispone de terminales sin tornillos.

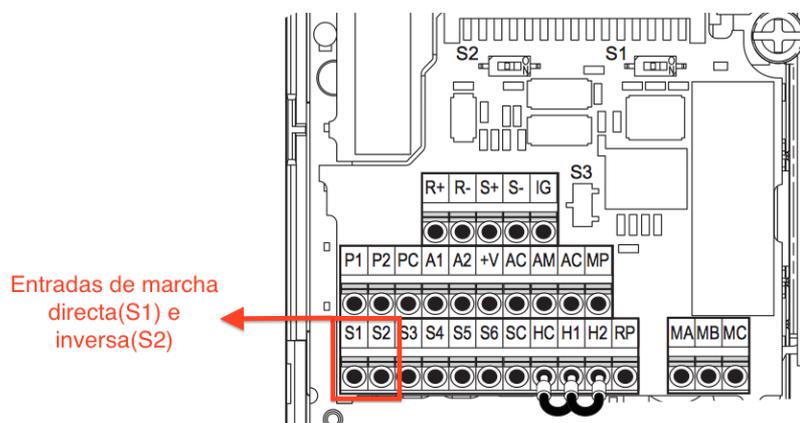


Figura 36: Terminales de Conexión del Variador de Frecuencia.

Fuente: Manual de Instrucciones V1000 OMRON

Por último se establecen los parámetros de funcionamiento. En este trabajo se busca una lenta pero precisa respuesta del motor a la hora de dirigirse al paso deseado, luego con una baja frecuencia dada por el variador será suficiente para realizar este proceso. Dado que el tiempo de respuesta es imprescindible que sea rápido dado el funcionamiento del proceso de cambio de paso, queremos que la aceleración sea alta, esto podría suponer un problema si la velocidad de giro deseada fuese alta, pero al no ser este el caso, podemos programar al máximo la aceleración.

A la hora de programar la frecuencia de salida máxima, que se espera que sea la habitual de trabajo, hay que tener en cuenta que el motor va acoplado a un juego de engranajes que mueve la pala, luego la velocidad de giro del motor dependerá de este juego de engranajes. Este es un estudio que queda fuera del alcance de este trabajo, así, el valor escogido para programar el variador es solamente representativo, 40Hz.

No.	Nombre	Descripción	Rango	Def.	Modo de Control			Dir. Hexa	Pág.
					V/f	O LV	PM		
E1-03	Selección de Patrón de V/f	Selecciona un Patrón de V/f predeterminado. 0: Torque constante a 50 Hz 1 1: Torque constante a 60 Hz 2 2: Torque constante a 60 Hz 3 (base de 50 Hz) 3: Torque constante a 72 Hz 4 (base de 60 Hz) 4: Torque variable a 50 Hz 1 5: Torque variable a 50 Hz 2 6: Torque variable a 60 Hz 3 7: Torque variable a 60 Hz 4 8: Torque de arranque alto a 50 Hz 1 9: Torque de arranque alto a 50 Hz 2 A: Torque de arranque alto a 60 Hz 3 B: Torque de arranque alto a 60 Hz 4 C: 90 Hz (base de 60 Hz) D: 120 Hz (base de 60 Hz) E: 180 Hz (base de 60 Hz) F: V/f personalizado. La configuración de E1-04 a E1-13 define el patrón del V/f.	0 a F	F	A	A	-	302	—
E1-04	Frecuencia de Salida Máx.		40.0 400.0 <2>	60 Hz <10>	S	S	S	303	104
E1-05 <24>	Voltaje de Salida Máximo		0.0 a 255.0	230 V <10>	S	S	S	304	104
E1-06	Frecuencia Base	Estos parámetros sólo son aplicables cuando E1-03 está configurado en F, para configurar las características de V/f	0.0 a E1-04	60 Hz	S	S	S	305	104

Figura 37: Selección de Parámetros de la Frecuencia de Salida Máxima

Fuente: Manual de Instrucciones V1000 OMRON

No.	Nombre del Parámetro	Descripción	Rango de Configuración	Predeterminado
C1-01 <2>	Tiempo de Aceleración 1	Configura el tiempo para acelerar de 0 a 100% (frecuencia de salida máxima).	0.0 a 6000.0 <2>	10.0 s
C1-02 <2>	Tiempo de Desaceleración 1	Configura el tiempo para desacelerar de 100% (frecuencia de salida máxima) a 0%.		
C1-10	Unidades de Configuración de Tiempo de Acel./Desacel.	Configura la resolución de configuración de C1-01 a C1-09. 0: 0.01 s (0.00 a 600.00 s) 1: 0.1 s (0.0 a 6000.0 s)	0, 1	1

Figura 38: Selección de Parámetros del Tiempo de Aceleración y Desaceleración

Fuente: Manual de Instrucciones V1000 OMRON

Con esta configuración del variador de frecuencia se consigue que la velocidad de giro sea constante, luego para llegar de un paso a otro, sólo hace falta controlar el tiempo que el motor debe estar actuando y el sentido de giro. Esto lo controla el PLC y manda señal hacia las entradas S1 y S2 del variador.

## 8. Selección del Motor Trifásico

Debido a la escasa información publicada por los fabricantes con respecto a los datos estructurales de los palas y para poder estimar los esfuerzos incidentes en ellas será necesario modelizar una pala de dimensiones aproximadas a la realidad y establecer los coeficientes de seguridad adecuados.

No es el objeto de este trabajo el calcular y seleccionar el motor óptimo que realice el movimiento del paso de pala. Esto se podrá hacer únicamente cuando se conozcan con detalle la geometría, longitud de cuerda y ley de torsión a lo largo de su envergadura, ley de conicidad, distribución de masas así como los materiales con la que se construyen las palas.

Estos datos permitirán conocer el peso total, los momentos de inercia de las secciones y sobre el eje de la pala, el módulo de torsión, áreas de las secciones, densidades de las secciones, módulos elásticos y módulos de cortadura de las secciones y posiciones del centro de masas. Con esta información y mediante el conocimiento de las cargas actuantes se podrá determinar el par resistente al motor accionador del sistema de paso de pala.

Las fuerzas actuantes son:

- Fuerzas de origen aerodinámico, debidas a la interacción del viento con la pala. Estas fuerzas de sustentación y arrastre no son lineales, no son periódicas y, por otra parte, debido al recurso eólico son de carácter aleatorio.
- Fuerzas de origen inercial, debidas a la gravedad y centrífugas, por el giro de la pala.

A su vez, estas fuerzas se pueden clasificar en estacionarias, transitorias, cíclicas y turbulentas.

- Las fuerzas estacionarias son las fuerzas y momentos aerodinámicos que actúan sobre la pala cuando el viento es constante y perpendicular al plano del rotor. Son las fuerzas tangenciales, que a su vez provocan un momento flector sobre la raíz de la pala en dirección del arrastre y las fuerzas normales (empuje), que también provocan momento flector en la dirección de abatimiento. También son estacionarias las cargas de origen inercial debidas a esfuerzos centrífugos.
- Las cargas transitorias son las provocadas por el fenómeno de rachas, viento cruzado o por la operación de parada o arranque de forma programada o de emergencia.
- Las cargas cíclicas son las provocadas por la cortadura del viento (perfil vertical de la velocidad del viento), el efecto de sombra de la torre, el cabeceo del eje a baja velocidad, el peso, el ángulo de inclinación del eje del rotor y la conicidad de las palas.
- Las cargas turbulentas son las provocadas por las variaciones temporales y espaciales del campo de velocidades del viento.

Modelo

A efectos de este trabajo, se van a considerar una forma de pala rectangular de dimensiones 60 x 3m, situando el eje de giro en uno de sus lados largos.

Se considera el empuje total del viento aplicado en el centro de masa del rectángulo.

Se tomara como velocidad de viento, la velocidad de desconexión de la turbina, que es de 27m/s.

Se realizan los cálculos para el caso de posición vertical de la pala, perpendicular al viento, por tratarse del caso mas desfavorable de par resistente.

El valor de la fuerza F:

$$F = \frac{1}{2} \rho \cdot v^2 \cdot A \cdot C_d$$

Donde:

- $\rho$  es la densidad del aire 1,223 kg/m<sup>3</sup>
- $v$  es la velocidad del viento, 27 m/s
- $A$  es la superficie del rectángulo: 180 m<sup>2</sup>
- $C_d$  es el coeficiente de forma: 1,17

Resultando  $F = 94112'2962 \text{ N}$

Y un momento con respecto al eje de  $M = 141168'4443 \text{ N}\cdot\text{m}$

La velocidad de giro ( $\omega$ ) prevista para el paso de pala es de 2°/s equivalentes a 0,0349 rad/s

La potencia,

$$P = M \cdot \omega = 4926'7787 \text{ W}$$

El coeficiente de seguridad adoptado es 1,35, resultando una potencia necesaria de 6,6512kW.

Considerando el rendimiento del motor eléctrico en  $\eta = 0.835$ , el motor necesario para accionar el sistema de paso es de 7'9655kW.



Output kW	Type designation	Product code	Speed r/min	Efficiency		Current $I_N$ A	Torque $T_N$ Nm	Moment of inertia $J = 1/4 GD^2$ kgm <sup>2</sup>	Weight kg
				Full load 100%	Power factor $\cos \varphi$				
<b>750 r/min = 8 poles</b>									
<b>400 V 50 Hz</b>									
<b>Basic design</b>									
0.18	M2QA 80 M8A	3GQA 084 301-...A	700	51.0	0.60	0.85	2.46	0.00111	16
0.25	M2QA 80 M8B	3GQA 084 302-...A	700	54.5	0.60	1.11	3.41	0.00326	17
0.37	M2QA 90 S8A	3GQA 094 101-...A	700	62.5	0.60	1.42	5.05	0.00541	21
0.55	M2QA 90 L8A	3GQA 094 501-...A	700	63.5	0.60	2.07	7.5	0.00756	24
0.75	M2QA 100 L8A	3GQA 104 501-...A	700	70.0	0.64	2.42	10.23	0.00971	31
1.1	M2QA 100 L8B	3GQA 104 502-...A	700	71.5	0.65	3.45	15.01	0.01186	34
1.5	M2QA 112 M8A	3GQA 114 301-...A	700	75.0	0.68	4.27	20.46	0.01559	42
2.2	M2QA 132 S8A	3GQA 134 101-...A	710	81.0	0.70	5.6	29.59	0.03625	56
3	M2QA 132 M8A	3GQA 134 301-...A	710	81.0	0.75	7.13	40.35	0.04141	64
4	M2QA 160 M8A	3GQA 164 301-...A	720	84.0	0.73	9.42	53	0.0676	105
5.5	M2QA 160 M8B	3GQA 164 302-...A	720	85.5	0.74	12.55	72	0.09524	125
7.5	M2QA 160 L8A	3GQA 164 501-...A	720	86.5	0.74	16.91	99	0.12122	142
11	M2QA 180 L8A	3GQA 184 501-...A	730	87.7	0.77	23.51	143	0.23645	176
15	M2QA 200 L8A	3GQA 204 501-...A	730	89.0	0.76	32.009	196	0.37103	235
18.5	M2QA 225 S8A	3GQA 224 101-...A	740	90.0	0.75	39.56	238	0.53287	290
22	M2QA 225 M8A	3GQA 224 301-...A	740	90.5	0.75	46.78	283	0.65825	302
30	M2QA 250 M8A	3GQA 254 301-...A	740	91.3	0.79	60	387	0.975	392
37	M2BAT 280 SMA	3GBA 284 210-...D	741	93.5	0.78	74	477	1.85	570
45	M2BAT 280 SMB	3GBA 284 220-...D	741	94.0	0.78	90	580	2.2	610
55	M2BAT 315 SMA	3GBA 314 210-...D	742	94.1	0.81	104	708	3.2	820
75	M2BAT 315 SMB	3GBA 314 220-...D	741	94.4	0.82	141	968	4.1	910
90	M2BAT 315 SMC	3GBA 314 230-...D	741	94.8	0.82	167	1161	4.9	980
110	M2BAT 315 MLA	3GBA 314 410-...D	740	95.0	0.83	203	1420	5.8	1100
<b>750 r/min = 8 poles</b>									
<b>400 V 50 Hz</b>									
<b>High-output design</b>									
2	<sup>1)</sup> M2QA 112 M8B	3GQA 114 302-...A	700	72.0	0.68	5.94	27.3	0.0199	45
3.8	<sup>1)</sup> M2QA 132 M8B	3GQA 134 302-...A	710	78.0	0.75	9.38	51	0.04776	75
8.5	<sup>1)</sup> M2QA 160 L8B	3GQA 164 502-...A	720	83.5	0.74	19.86	113	0.1312	136
15	<sup>1)</sup> M2QA 180 L8B	3GQA 184 502-...A	730	84.7	0.77	33.2	196	0.283984	196
18.5	<sup>1)</sup> M2QA 200 L8B	3GQA 204 502-...A	730	86.0	0.76	40.85	242	0.46854	274
30	<sup>1)</sup> M2QA 225 M8B	3GQA 224 302-...A	740	87.5	0.75	66	387	0.803267	349
37	<sup>1)</sup> M2QA 250 M8B	3GQA 254 302-...A	740	88.3	0.79	76	478	1.28	436
55	M2BAT 280 SMC	3GBA 284 230-...D	741	94.4	0.79	108	709	2.85	690

<sup>1)</sup> Temperature rise class F

Figura 39: Catálogo de motores asíncronos ABB. Fuente: [www.abb.com](http://www.abb.com)

La velocidad de giro del motor será  $n = 750 \text{ rpm}$ , 8 polos.

Para accionar el sistema de paso de pala, que se compone de una rueda dentada de diámetro comprendido entre 1 y 2 metros, se utiliza una reductora accionada por el motor eléctrico de 8'5kW.

# 9. Funcionamiento

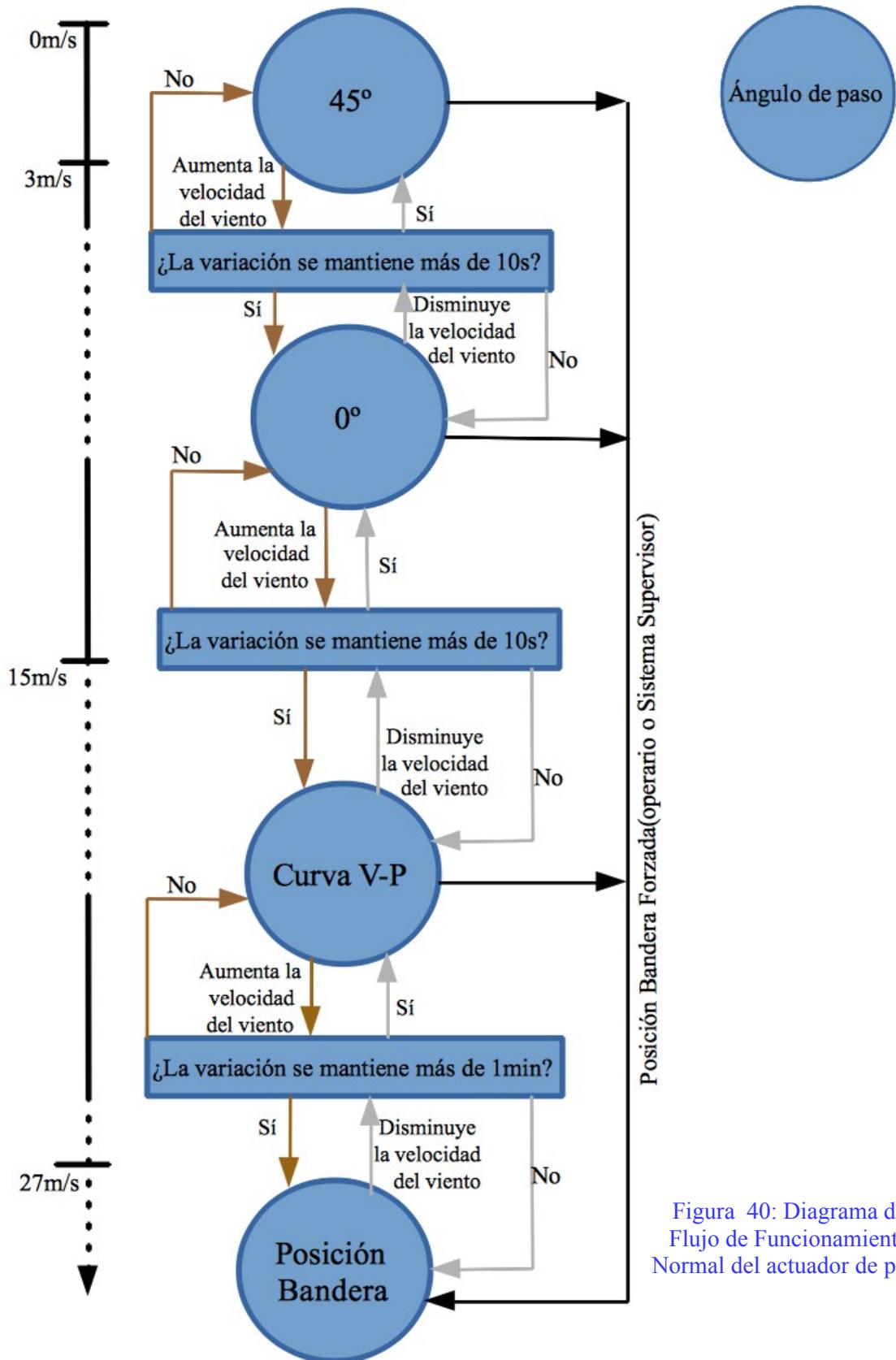


Figura 40: Diagrama de Flujo de Funcionamiento Normal del actuador de paso

En esta apartado se describe el funcionamiento del sistema. En la Figura 11 se observa una visión general de los distintos aparatos y sus interacciones.

## 9.1 Anemómetro

El anemómetro, en la mayoría de los aerogeneradores, está ubicado en la parte posterior de la góndola. Este dato es importante a tener en cuenta para interpretar su lectura, ya que, al encontrarse detrás de el rotor eólico la velocidad del viento es menor que antes de pasar por el rotor, esta pérdida debe calcularse y diseñarse el programa en consecuencia, si no, el aerogenerador puede ser expuesto a velocidades de viento superiores a las nominales sin que el sistema mande la posición bandera.

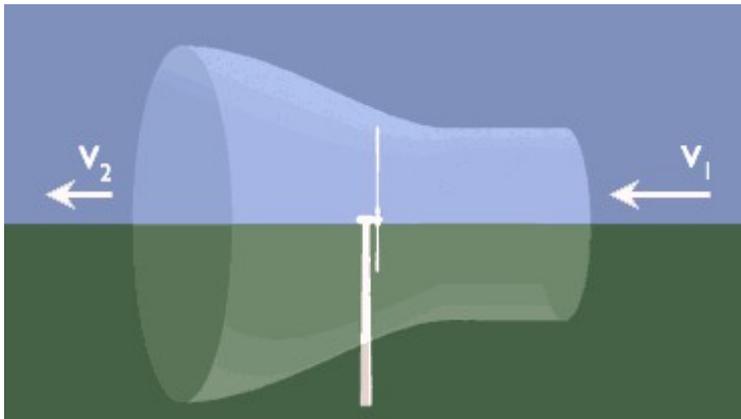


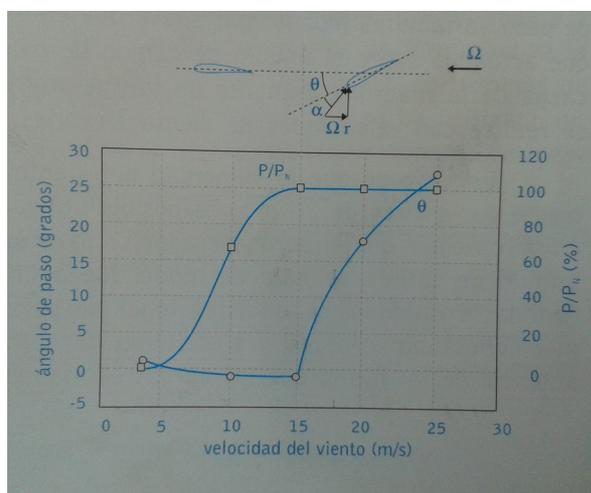
Figura 41: Diferencia de velocidades antes y después del rotor eólico.  
Fuente: Google Images

El anemómetro manda señales analógicas continuamente al PLC y respecto a este valor, la pala adoptará un paso distinto.

## 9.2 Relación viento-paso

La función seguida para elegir el paso deseado es la siguiente.

Se puede observar que el paso adopta valores negativos que no exceden de  $-1^\circ$  cuando la velocidad del viento está comprendida entre 5m/s y 15m/s. Este comportamiento no ha sido posible implementarlo por limitaciones de software, durante ese período el paso es de  $0^\circ$ , que es una solución bastante aproximada a la óptima.



Adicionalmente, para reducir los esfuerzos sobre la pala durante el arranque, cuando la velocidad del viento esté comprendida entre 0m/s y 3m/s, el paso será de  $45^\circ$ . Así mismo, ya que el generador modelo lo permite, la velocidad del viento máxima admisible antes de dar la orden de posición bandera, es de 27m/s. Como se puede observar en la Figura 24, el uso del cambio de paso permite un control de potencia exhaustivo.

Figura 42: Función Relación Velocidad del viento-Paso  
Fuente: Sistemas Eólicos de Generación de Energía Eléctrica

## 9.2.1 Proceso de Funcionamiento Normal

Como funcionamiento habitual vamos a entender aquel proceso en el que dada una velocidad del viento, el actuador lleva a la pala al paso correspondiente a esa velocidad, por ejemplo, sopla un viento de 25m/s, por tanto la pala tiene un paso de 27°. No se tendrán en cuenta en esta definición los casos en los que un operario da una orden distinta a la respuesta esperada del PLC para una velocidad de viento determinada, por ejemplo, en el supuesto de que sople un viento de 20m/s (y deba haber un paso de 18°) pero el operario haya introducido por pantalla que desea la posición bandera.

A continuación se detallan los distintos estados en un supuesto de viento aumentando la velocidad desde 0m/s hasta 30m/s.

1° Se supone un inicio de operación con una velocidad de viento de 0m/s, el paso de la pala es de 45°.

2° La velocidad del viento aumenta hasta antes de los 3m/s, la pala sigue con un paso de 45°. Esta velocidad es suficiente para hacer arrancar el aerogenerador sin sobre esfuerzos.

3° La velocidad del viento alcanza los 3m/s, el actuador lleva la pala hasta los 0°, el generador eléctrico se conecta a la red.

4° La velocidad del viento aumenta hasta antes de los 15m/s, el paso se mantiene constante a 0°.

5° La velocidad del viento varía desde los 15m/s hasta los 27m/s, el actuador de paso dirige la pala variando su paso siguiendo la curva de la figura 24 extendida hasta los 27m/s con un paso de 30°. La potencia otorgada por el aerogenerador es la nominal, para el aerogenerador modelo en este trabajo son 5MW.

6° La velocidad del viento rebasa los 27m/s, el actuador de paso lleva la pala a posición bandera (90°).

7° El PLC espera que el anemómetro vuelva a marcar una velocidad inferior a los 27m/s para mandar el aerogenerador a la posición oportuna.

Este proceso no es cíclico, si no alternante, es decir, la secuencia no pasa del 7° al 1°, si no que vuelve al 6° y continúa en ese sentido. Así mismo, la secuencia no tiene que llegar al 7° para volver hacia atrás, puede ir del 4° al 5° y volver al 4° estado. Esto se debe a las variaciones en la velocidad del viento y el recorrido lógico del paso de la pala.

## 9.2.2 Proceso de Funcionamiento Auxiliar

En el caso de que un operario desee realizar comprobaciones de funcionamiento, tiene la posibilidad de introducir por pantalla distintos ángulos de paso. Esta opción no se puede realizar cuando las condiciones climatológicas no lo permitan. En caso de elevada velocidad del viento, el actuador nunca acepta un paso menor que el que le corresponde para un viento determinado según la gráfica de la Figura 24, de no ser así, esto podría poner en peligro la seguridad estructural del aerogenerador.

Para volver al funcionamiento normal basta con dejar el valor del paso introducido por pantalla a 0°.

Otro caso de funcionamiento inusual es aquel en que por razones distintas a la velocidad del viento se desea que el aerogenerador se encuentre en parada, como por ejemplo en caso de que la demanda de energía sea baja y desde el centro de control se necesite desconectar el suministro. El sistema permite dirigir la pala a bandera o a funcionamiento habitual a través de una botonera con el sistema clásico de marcha-paro o a partir de dos botones por pantalla con el mismo sistema (Figura 19).

## 10. Conclusiones

Este trabajo se comenzó a desarrollar a partir de una idea genérica. Los parámetros de funcionamiento de un actuador de paso son datos que es difícil encontrar hasta en la literatura dedicada a los aerogeneradores, parámetros tan importantes como son la curva viento-paso o el par resistente de una pala al rotar sobre su eje. Esto supuso que durante el desarrollo de la programación del PLC hubo que cambiar muchos elementos que se consideraron inicialmente de una forma y hubo que corregirlos, detallarlos y perfeccionarlos. Del mismo modo, durante el desarrollo de la programación del PLC se esperaba que la salida del valor de paso fuera una salida analógica que marcara el ángulo de paso directamente, se planteó la idea de un mecanismo similar al de un voltímetro analógico pero para un actuador de paso. Pues el PLC que se iba a utilizar no disponía de esa salida. Este fue el mayor reto para la fase de programación de este trabajo. Se presentaron dos posibilidades. Lo primero que se planteó para superar este obstáculo fue elegir un PLC que sí tuviera una salida analógica, pero esto suponía cambiar de lenguaje de programación y, por tanto, de estructura del programa, así como cambiar el montaje. Se buscaron otras alternativas que no significaran desechar lo ya desarrollado. Se propuso, para superar este reto, modificar el programa actual para que la salida fuera digital y así compatible con el PLC. Este fue el mayor reto a nivel de desarrollo del TFG, ya que la parte más importante por ser la de elaboración propia, es la de programación y hubo que replantear el programa a partir de lo que ya se tenía realizado. El resultado de esta “reprogramación” fue el presente TFG. Comparte la estructura con el programa inicial de transmisión de información con la pantalla pero con la incorporación del control de tiempo de marcha digital.

Gracias a utilizar esta solución y no la otra planteada de cambiar el PLC se consiguió, ahorrar tiempo de programación, reutilizar lo ya creado y no cambiar de lenguaje de programación.

Los inconvenientes de esta solución fueron, la necesidad de estudiar de nuevo las funciones del variador de frecuencia para acoplarse a la salida digital del PLC y el hecho de que trabajar sobre el programa ya creado supone una mayor carga para el PLC en el tiempo de ejecución del programa, dando pie a posibles errores de *timing*. Pero analizando las variables de entrada al sistema se descubre que no hace falta un *Watchdog* para este programa por la física del problema a resolver.

### **-Conclusión final:**

Gamesa, fabricante de los aerogeneradores de 5MW, hasta ahora ha elegido utilizar actuadores hidráulicos. Con este TFG se ha podido demostrar que el actuador de paso eléctrico puede ser instalado en un aerogenerador de grandes dimensiones como el de estudio (5MW).

Es de vital importancia para el desarrollo de los trabajos de automatización y control, tener bien definida la idea inicial, establecer todos los parámetros, elementos y pasos a tener en cuenta antes de empezar la programación y el trabajo en sí mismo. Teniendo en cuenta esto, se ahorra tiempo del proyecto y se hace más eficiente, ahorrando costes del presupuesto final.

### **-Nuevas vías de investigación:**

Este trabajo ha supuesto la inmersión en el mundo de los autómatas programables, porque en toda la industria hace falta el uso de PLCs o se pueden utilizar para sustituir antiguos dispositivos o procesos de control.

El actuador de paso tiene salidas también en el campo de la aeronáutica. El paso de las aeroturbinas y hélices muchas veces es variable.

En los aerogeneradores, se pueden implementar PLCs en el mecanismo de orientación, el freno mecánico, elementos auxiliares de acceso, ventilación...

El actuador hidráulico de los aerogeneradores depende de la potencia otorgada por una bomba hidráulica, movida por un motor eléctrico, controlado por un PLC.

# **BIBLIOGRAFÍA**

Jose Luis Rodríguez Amenedo, Santiago Arnalte Gómez y Juan Carlos Burgos Díaz  
2003, **Sistemas Eólicos de Producción de Energía Eléctrica**, Madrid, Editorial Rueda  
S.L.

Salvador Cucó Pardillos  
2010, **Módulo Energía Eólica**, Valencia, ITE.

Luis Serrano Iribarnegaray y Javier Andrés Martínez Román  
2014, **Máquinas Eléctricas**, Valencia, Editorial UPV.

Manuel Pineda Sánchez y Juan Pérez Cruz  
2006, **Automatización de Maniobras Industriales mediante Autómatas Programables**,  
Valencia, Editorial UPV.

Manuel Pineda Sánchez, Juan Pérez Cruz y Rubén Puche Panadero  
2013, **Maniobras en Autómatas Programables de Acuerdo con la IEC\_61131-3**, Valencia, Editorial  
UPV.

Miguel Ángel Sánchez Maza  
2008, **Introducción a la Energía Eólica**, Málaga, IC Editorial.

# **CONSULTAS WEB**

-<http://www.aee.org> *Asociación Eólica Empresarial*

-<http://www.gwec.net> *Global Wind Energy Council*

-<http://www.utn.edu.ar> *Universidad Tecnológica Nacional(Argentina)*

-<http://www.omron.es>

-<http://www.schneider-electric.com>

-<http://www.abb.com>





UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA  
SUPERIOR INGENIEROS  
INDUSTRIALES VALENCIA

**IMPLEMENTACIÓN DEL ACTUADOR DE PASO  
DE UN AEROGENERADOR MEDIANTE PLC**

**PLIEGO DE  
CONDICIONES**

**Ribas Bañó, Jose**



# 1. Especificaciones de Funcionamiento

## 1.1 Especificaciones de funcionamiento del PLC

El PLC funcionará según los siguientes estados del aerogenerador:

### Estado: Parado

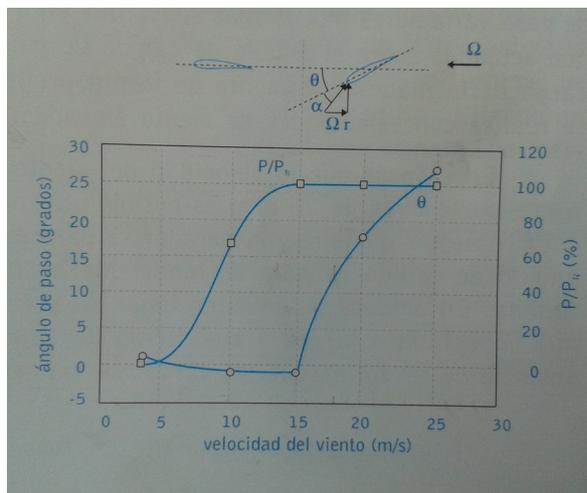
En este estado los requisitos son:

- El ángulo de paso de pala debe ser  $90^\circ$ .
- El sistema permitirá al operario la función de mantenimiento de comprobación de giro de la pala con el terminal HMI, siempre que el rotor se encuentre bloqueado por el freno mecánico.
- El sistema sólo podrá salir del estado de parada bajo orden del sistema supervisor o del operario.

### Estado: Arranque

En este estado los requisitos son:

- El Sistema Supervisor o el operador mandará una señal de puesta en marcha.
- La velocidad de giro en este estado es de  $2^\circ/s$
- Si la velocidad del viento está comprendida entre 0 y 3 m/s el actuador de paso situará el ángulo de paso de la pala en  $45^\circ$ .
- Si la velocidad del viento es superior a 3m/s el actuador de paso situará el ángulo de paso de la pala siguiendo la curva V-P.



Curva V-P

### Estado: Funcionamiento Normal.

En este estado el requisito es:

- La velocidad de giro es de  $2^\circ/s$ .
- Si la velocidad del viento está comprendida entre 0 y 3 m/s el actuador de paso situará el ángulo de paso de la pala en  $45^\circ$ .
- Si la velocidad del viento es superior a 3m/s el actuador de paso situará el ángulo de

- paso de la pala siguiendo la curva V-P.
- Si no hay una variación del viento que dure más de 10s el actuador permanecerá con el ángulo de paso anterior.
  - Si la velocidad del viento supera los 27m/s durante más de 1min, el actuador pasará a parada de emergencia.
  - Si la velocidad del viento supera los 50m/s, el actuador de paso pasará a parada de emergencia.

### **Parada Normal**

Si la velocidad del viento se mantiene a 0m/s el ángulo de paso de pala se mantendrá a 45° esperando a que la velocidad del viento aumente.

### **Parada de Emergencia**

En este estado los requisitos son:

- El sistema deberá ir al estado de parada si el viento es superior a 27m/s y esta velocidad se mantiene superior durante 1min.
- Si el viento alcanza o supera los 50m/s el sistema deberá ir al estado de parada.
- Si el Sistema Supervisor o el operario envían la señal de posición bandera.
- La velocidad de giro es de 2°/s.

## **1.2 Especificaciones de Funcionamiento del terminal HMI**

El terminal HMI cumplirá los siguientes requisitos:

- Se podrá utilizar en Inglés o Español.
- Dispondrá de un panel de supervisión en el que se pueda ver la potencia otorgada por el aerogenerador, la velocidad del viento y el ángulo de paso actual, en tiempo real.
- El operario sólo podrá enviar la señal de posición bandera a través del HMI. No podrá mandarse esta señal a través de botones, interruptores o demás dispositivos físicos.
- El operario sólo podrá especificar el ángulo de paso para las comprobaciones a través del terminal HMI. No podrá mandarse esta señal a través de potenciómetros u otros dispositivos físicos.

## 2. Especificaciones del Equipo

### 2.1 El PLC

- Alimentación de 24V=.
- Alimentación de las entradas digitales 24V=.
- Alimentación de las entradas analógicas 10V máximo.
- Hasta 300mA= máximo
- Comunicación Modbus.
- Salidas tipo *Relay*, relé.
- Se deberá dejar más de la mitad de entradas y salidas libres.

### 2.2 El Terminal HMI

- Debe ser táctil.
- Alimentación 24V=.
- Comunicación con el PLC tipo Modbus o Ethernet.
- Mínimo 32Mb de memoria
- Mínimo 3'5 pulgadas
- Máximo 7 pulgadas

### 2.3 El Variador de Frecuencia

- Alimentación de 440 o 690 V~ 50Hz.
- Alimentación de entradas digitales hasta 24V=.
- Terminal de toma de tierra.

### 2.4 El Motor Eléctrico

- Alimentación de 440 o 690V~.
- Asíncrono.
- Terminal de toma de tierra.
- Hasta 1000 rpm.





UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA  
SUPERIOR INGENIEROS  
INDUSTRIALES VALENCIA

**IMPLEMENTACIÓN DEL ACTUADOR DE PASO  
DE UN AEROGENERADOR MEDIANTE PLC**

**PRESUPUESTO**

**Ribas Bañó, Jose**



## PRESUPUESTO

Para la elaboración del presupuesto se ha tenido en cuenta la mano de obra y el material. No se ha tenido en cuenta la mano de obra de la instalación, esto será realizado por un técnico.

El motor eléctrico no se ha añadido a la espera de que el fabricante aporte los parámetros técnicos de la pala del aerogenerador.

concepto	unidades	horas	precio unitario	total
<b>Materiales</b>				
PLC modelo SR3 B261BD de la serie Zelio de Schneider	1		€ 297,74	€ 297,74
Comunicador Mod bus modelo SR3 MBU01BD, serie Zelio de Schneider	1		€ 157,11	€ 157,11
HMI modelo XBTGT1105 de Schneider	1		€ 506,00	€ 506,00
Variador de frecuencia	1		€ 188,25	€ 188,25
Armario tipo PLT de poliéster reforzado con fibra de vidrio y elementos de sujeción.	1		€ 265,00	€ 265,00
pequeño material de conexionado	1		€ 150,00	€ 150,00
<b>Montaje y programación</b>				
Programación PLC		50	€ 30,00	€ 1.500,00
Programación HMI		15	€ 30,00	€ 450,00
Programación variador de frecuencia		10	€ 30,00	€ 300,00
Montaje		16	€ 20,00	€ 320,00
Total presupuesto ejecución material				€ 4.134,10
Gastos Generales y Beneficio industrial (13%+6%)/PEM				€ 785,48
Total presupuesto				€ 4.919,58
IVA 21%				€ 1.033,11
<b>PRESUPUESTO BASE DE LICITACIÓN</b>				<b>€ 5.952,69</b>

El presupuesto asciende a cinco mil novecientos cincuenta y dos euros con sesenta y nueve céntimos.





UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA  
SUPERIOR INGENIEROS  
INDUSTRIALES VALENCIA

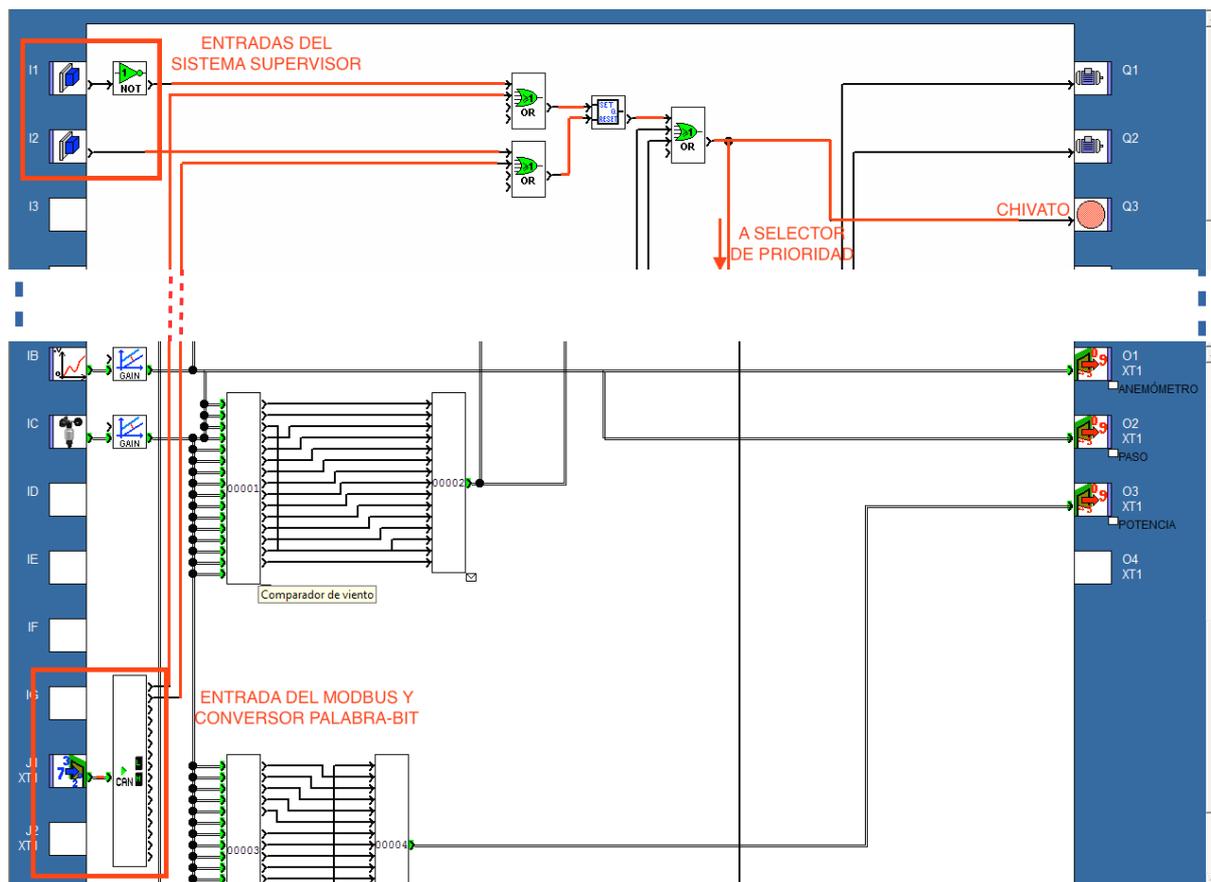
# IMPLEMENTACIÓN DEL ACTUADOR DE PASO DE UN AEROGENERADOR MEDIANTE PLC

# ANEXOS

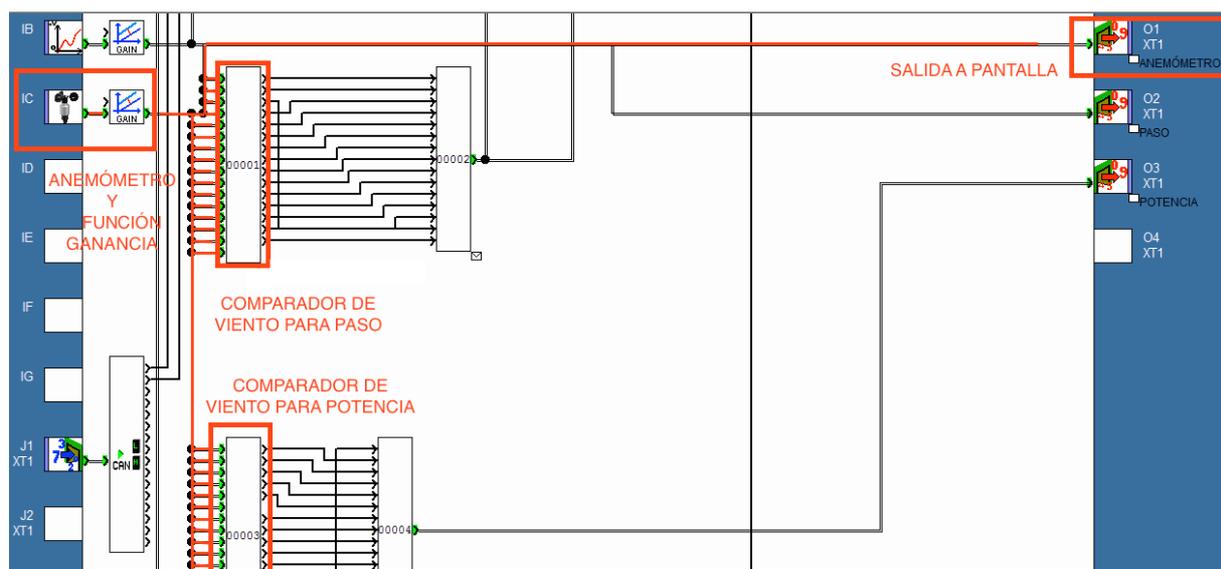
Ribas Bañó, Jose



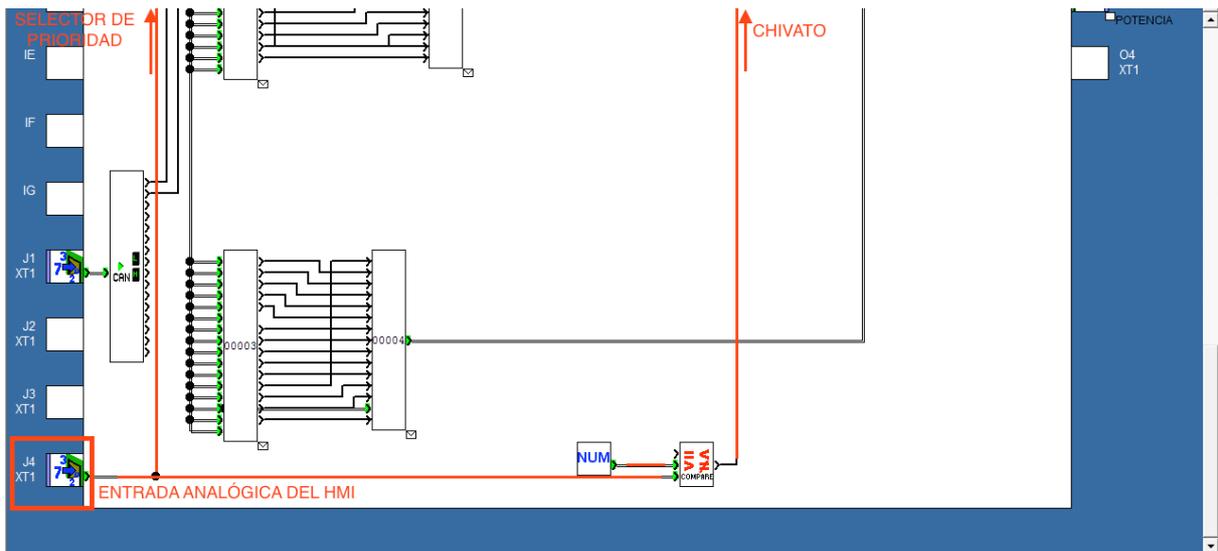
# ANEXO 1: PROGRAMACIÓN DEL PLC



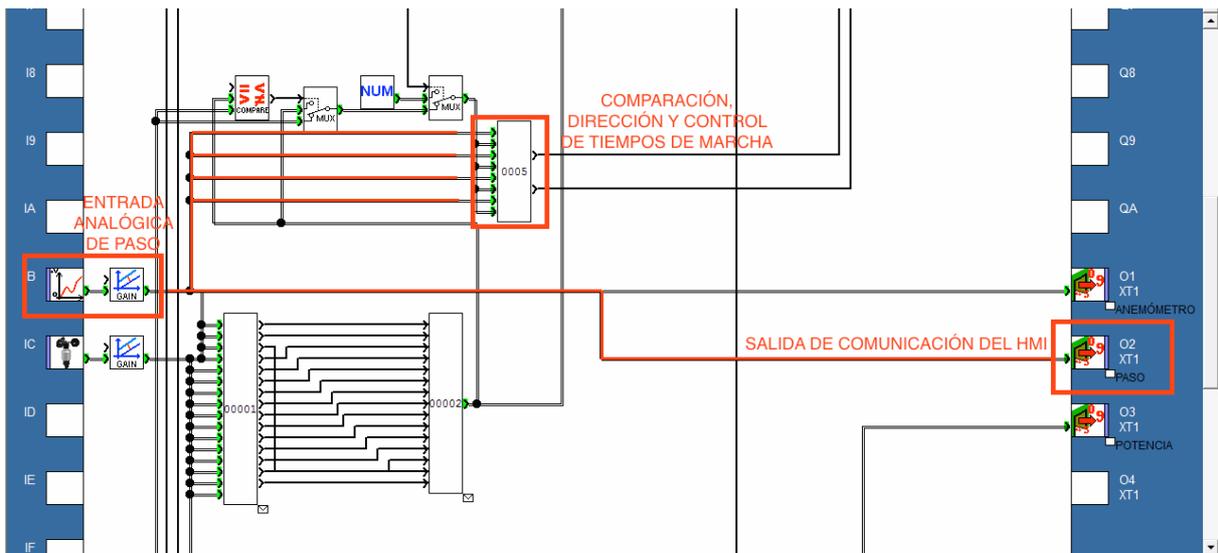
Las entrada I1 es una entrada habitualmente activa, la entrada I2 es una entrada habitualmente desactiva, gracias a esto en caso de que el Sistema Supervisor tuviera un fallo de conexión con el PLC y esta señal perdiera tensión, el aerogenerador iría a posición bandera.



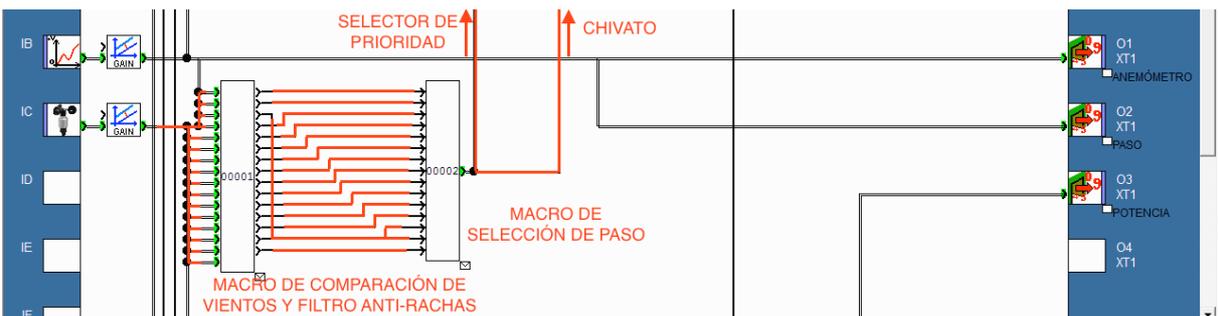
El anemómetro manda la señal a la pantalla y los comparadores de potencia y paso.

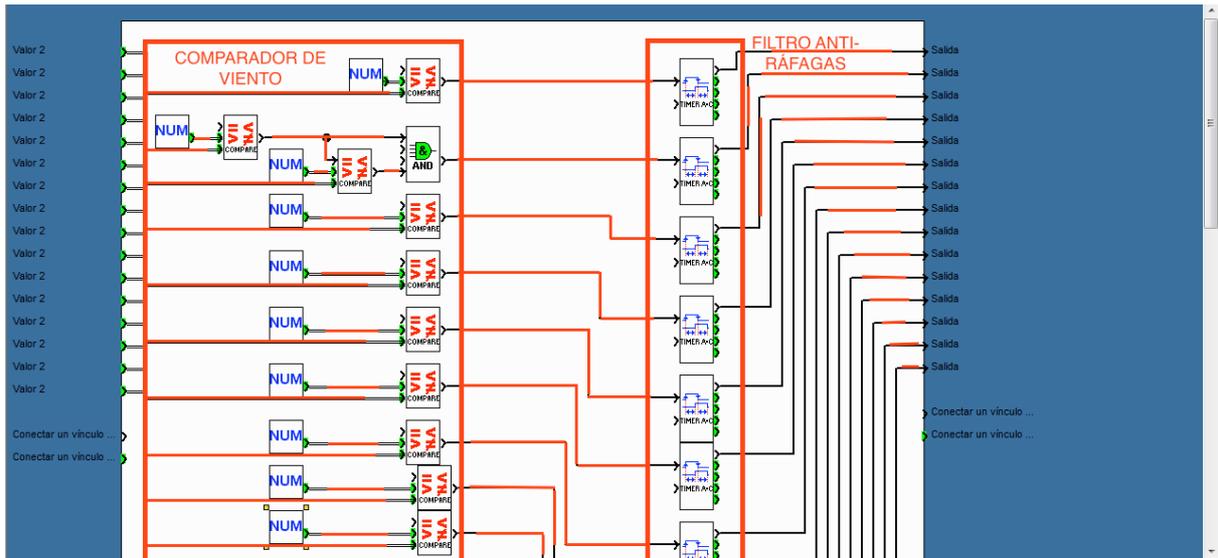


El valor introducido por la pantalla es enviado al selector de prioridad y al chivato.  
 El comparador y la constante numérica son un elemento que se encarga de activar el chivato en caso de que el valor introducido por pantalla sea 90°.

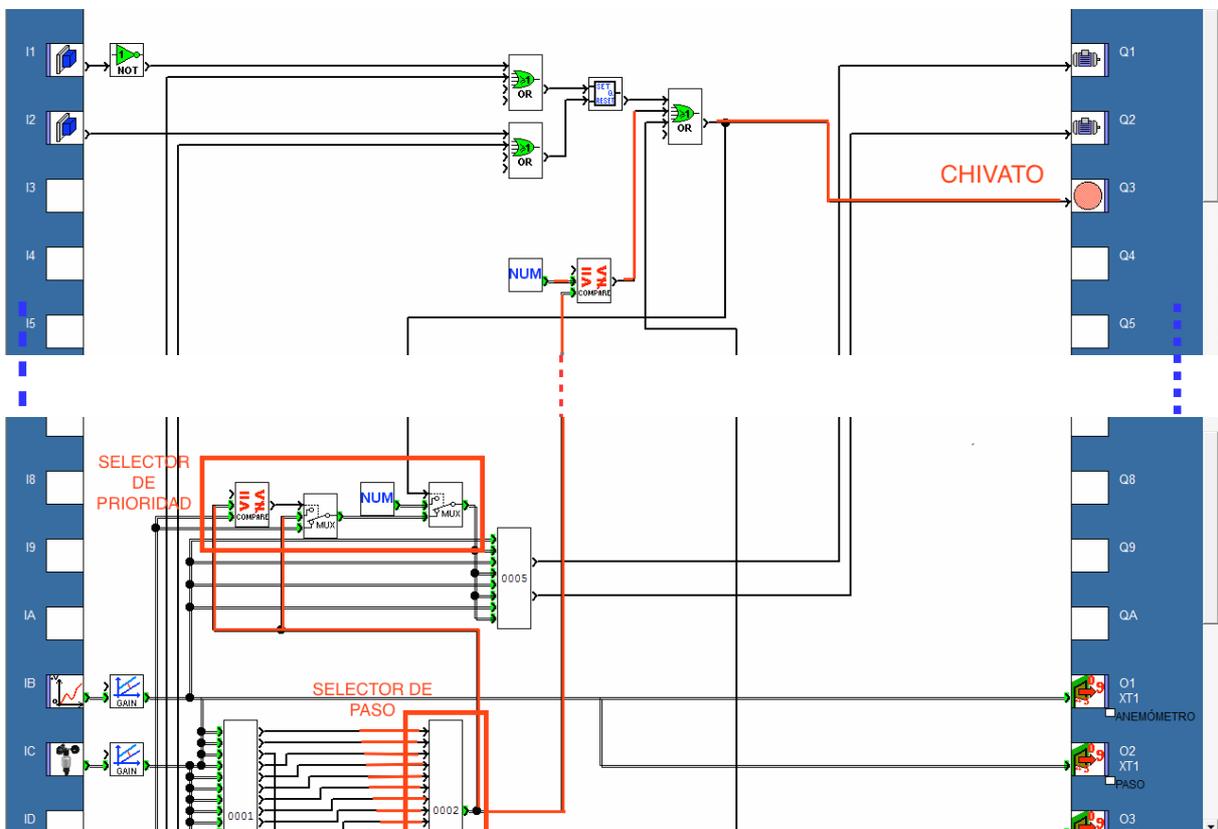


El valor que envía el sensor de posición es enviado al HMI y a los comparadores de dirección y control de los tiempos de marcha.

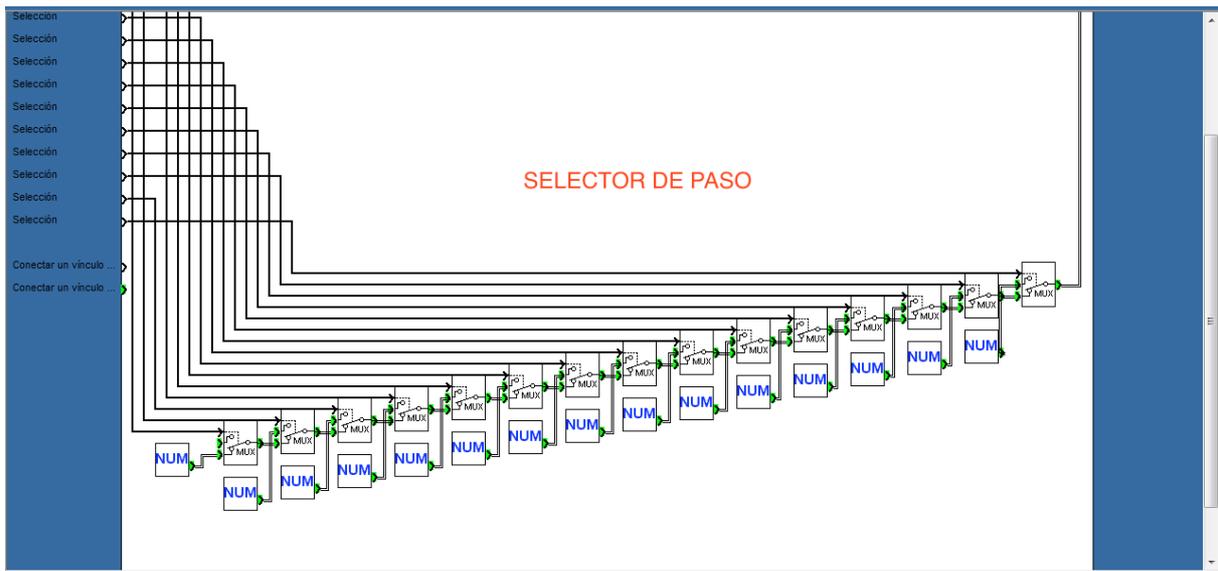




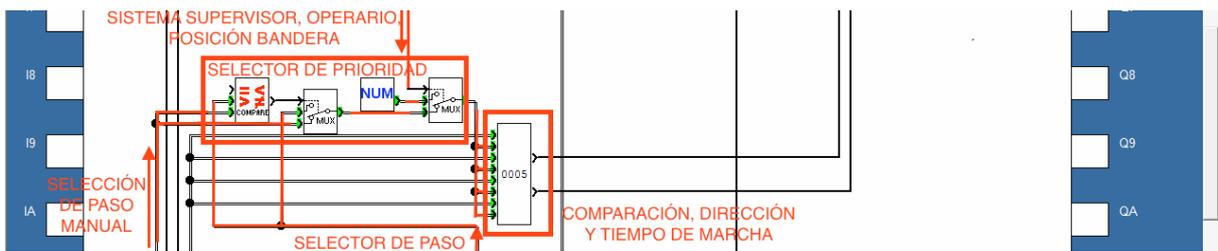
Las constantes numéricas del bloque de programación Comparador de Viento tiene casi todos los valores de velocidades de viento comprendidos entre 0 y 27m/s además de el de 50 m/s.  
 Los temporizadores están programados a 10s exceptuando el de 27m/s que está programado a 1min. La salida de 50m/s no tiene temporizador.  
 Ambos bloques de programación se encuentran en la macro 0001.



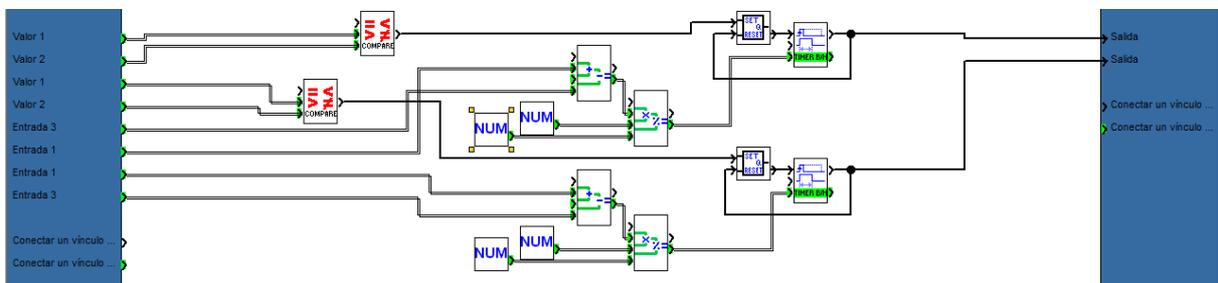
La macro 0002 envía el valor de paso al chivato (por si es de 90°) y al selector de prioridad.



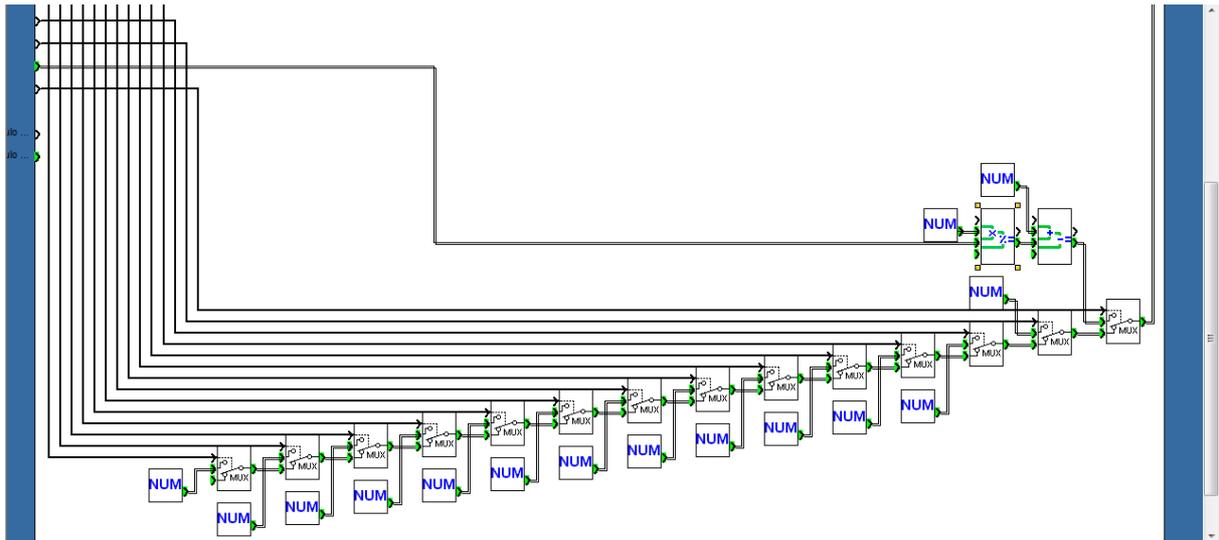
Detalle de la macro 0002. Cada multiplexor espera la señal de activación para introducir el valor de su constante asociada en vez de pasar el del multiplexor anterior.



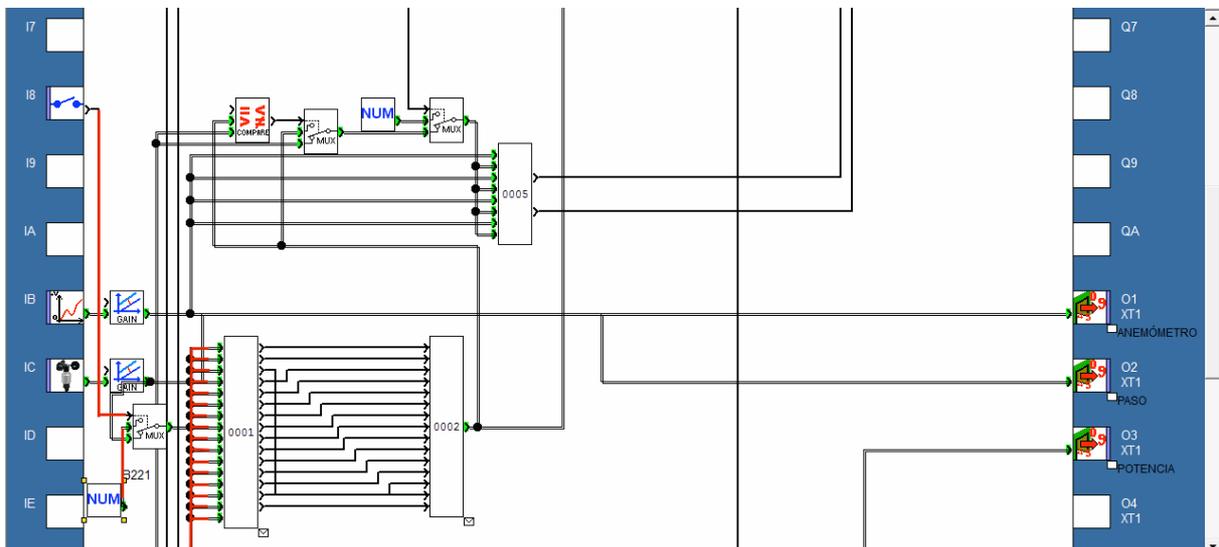
El Selector de prioridad recibe información del Sistema Supervisor, Operario, Posición bandera; del Selección de Paso Manual; y del Selector de Paso. Decide cuál dirige sobre el autómata y envía el resultado al bloque Comparación, Dirección y Control de Tiempo de Marcha.



Los comparadores permiten la activación de los temporizadores de marcha. Estos reciben constantemente el tiempo que deben estar en funcionamiento para llevar la pala al siguiente ángulo de paso y al recibir la orden de activación mandan la señal de marcha el tiempo correspondiente a lo que se les marca.



En la macro 0004 se seleccionan los distintos valores de potencia para cada velocidad de viento en funcionamiento normal.



La señal de mantenimiento habilitado del Sistema Supervisor activa un multiplexor que “engaña” a las macros de comparación de viento, forzando que reciban un valor distinto al del anemómetro.

## FUNCIONES LÓGICAS

Función	Símbolo	Descripción	Número de entrada	Tipo de entrada
NO		Si la entrada está inactiva o desconectada, la salida está activa. Si la entrada está activa, la salida está inactiva.	1	DIG
Y		Si todas las entradas están activas o desconectadas, la salida está activa. Si al menos una entrada está inactiva, la salida está inactiva.	4	DIG
O		Si al menos una entrada está activa, la salida está activa. Si todas las entradas están inactivas o desconectadas, la salida está inactiva.	4	DIG

# FUNCIÓN SET-RESET

## Presentación

El funcionamiento de la función **Báscula RS** es el siguiente:

- La activación de la entrada **SET** activa la salida y permanecerá así aunque la entrada **SET** se desactive a continuación.
- La activación de la entrada **RESET** desactiva la salida.
- Si las dos entradas están activas, el estado de la salida dependerá de la configuración de la función:
  - La salida está activa si está configurada la opción **SET Prioritario**.
  - La salida está inactiva si está configurada la opción **RESET Prioritario**.

Las entradas desconectadas se encuentran en estado **Inactivo**.

## Acceso

Se puede acceder a esta función  desde la barra de funciones **BDF**.

# FUNCIÓN GANANCIA

## Descripción

La función **Ganancia** permite convertir valores analógicos por cambio de escala y offset.

Fórmula de cálculo de la ganancia:

$$\text{SALIDA DE CÁLCULO} = A/B * \text{ENTRADA DE CÁLCULO} + C$$

## Acceso

Se puede acceder a esta función  desde la barra de funciones **BDF**.

## Entradas/salidas

Descripción de las entradas:

- **Validación función:** es la entrada de comando de la función de ganancia. Es de tipo **DIG**. El estado de esta entrada determina el funcionamiento del bloque: si la entrada **Validación función** está inactiva, la salida **Salida de cálculo** conserva el último valor calculado.

**NOTA:** si la entrada **Validación función** no está conectada, se considerará activa.

- **Entrada cálculo:** valor de la entrada analógica conectada a la función de ganancia. Es un entero comprendido entre -32.768 y 32.767.

Descripción de la salida:

- **Salida de cálculo:** es el valor de salida de la función de ganancia. Este valor depende del estado de la entrada de **Validación función**. Si la entrada de **Validación función** está:
  - inactiva: la **Salida de cálculo** será igual a cero.
  - activa: la **Salida de cálculo** será igual al resultado de la fórmula de cálculo de la ganancia.

## Parámetros

### En la herramienta

En la ventana **Parámetros** podrá ajustar:

- **A/B**, que corresponde a la **ganancia** aplicada por la función con:
  - **A:** numerador (de -32.768 a 32.767)
  - **B:** denominador (de -32.768 a -1 y de 1 a 32.767) (4)
- **C** es el **offset** aplicado por la función. Es un entero comprendido entre -32.768 y 32.767(5).

Se puede definir un **rango de funcionamiento** estableciendo límites para la salida de la función:

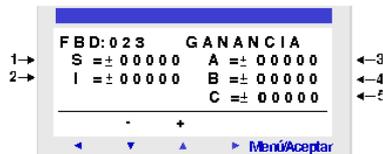
- Límite inferior: enteros comprendidos entre -32.768 y 32.767.
- Límite superior: enteros comprendidos entre -32.768 y 32.767.

### Desde el panel frontal

En el menú **PARÁMETROS** puede ajustar:

- **S:** límite superior (1)
- **I:** límite inferior (2).
- **A:** numerador (3)
- **B:** denominador (4)
- **C:** offset (5)

Imagen:



## Bloqueo de parámetros

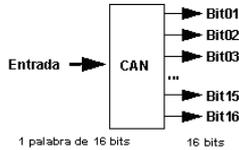
El bloqueo prohíbe la modificación de los parámetros del bloque de función bloqueados desde el panel frontal del módulo lógico en el menú **PARÁMETROS**.

# FUNCIÓN CONVERSOR PALABRA-BIT

## Descripción

La función **Conversión de palabras-bits** se compone de una entrada de tipo: entero (16 bits) en 16 salidas de tipo: bit.

Ilustración:



**NOTA:** Esta función puede utilizarse, por ejemplo, para dividir una entrada de tipo [Modbus](#) (J1XT1 ... J4XT1) y copiar estos estados en las salidas DIG.

## Acceso

Se puede acceder a esta función  desde la barra de funciones **BDF**.

## Entradas/salidas

Esta función posee una entrada de tipo entero (16 bits).

Esta función posee 16 salidas de tipo DIG: **Bit01** (menos significativo) ... **Bit16** (más significativo).

# FUNCIÓN MULTIPLEXOR

## Descripción

La función **Multiplexado** realiza un multiplexado de dos vías de entrada en la **Salida**.

## Acceso

Se puede acceder a esta función  desde la barra de funciones **BDF**.

## Entradas/salidas

Descripción de las entradas:

- **Vía A:** es la entrada A del multiplexador, es de tipo [entero](#).
- **Vía B:** se trata de la entrada B del multiplexador; de tipo [entero](#).
- **Comando:** esta entrada permite elegir el canal de entrada que se va a aplicar en la salida.

**NOTA:** Si al entrada **Comando** no está conectada, se considerará inactiva.

**NOTA:** Si las vías A o B no están conectadas, se fijarán en 0.

Descripción de la salida:

- **Salida:** es la salida del multiplexador.  
Este valor depende del estado de la entrada **Comando**.  
Si la entrada **Comando** está:
  - Inactiva: la **Salida** corresponde a la **Vía A**.
  - Activa: la **Salida** corresponde a la **Vía B**.

# FUNCIÓN SUMA-RESTA

## Descripción

La **Función aritmética ADD/SUB** permite efectuar operaciones sencillas en enteros:

- Adición
- Sustracción

Fórmula de cálculo:

$$\text{SALIDA DE CÁLCULO} = \text{ENTRADA1} + \text{ENTRADA2} - \text{ENTRADA3}$$

## Acceso

Se puede acceder a esta función  desde la barra de funciones **BDF**.

## Entradas/salidas

Descripción de las entradas:

- **Entrada 1:** primer valor de entrada de la fórmula ([entero](#)).
- **Entrada 2:** segundo valor de entrada de la fórmula ([entero](#)).
- **Entrada 3:** tercer valor de entrada de la fórmula ([entero](#)).

**NOTA:** Si las entradas no están conectadas, se fijarán en 0.

• **Propagación de errores:** esta entrada de tipo [DIG](#) sirve para propagar errores (o saturaciones) procedentes de funciones de cálculo ( [ADD/SUB](#) o [MUL/DIV](#) ) efectuadas en la parte superior.

**NOTA:** Si **Propagación de errores** se ajusta en 1, las operaciones no se llevarán a cabo, y la salida **Error/Desborde** se pondrá a 1.

**NOTA:** Si la entrada **Propagación de errores** no está conectada, se ajusta en 0.

Descripción de las salidas:

- **Salida de cálculo:** es el valor de salida de la fórmula de cálculo ([entero](#)).
- **Error/Desborde:** esta salida de tipo [DIG](#) indica la presencia de posibles errores de saturación).  
Esta salida está activa en los siguientes casos.

# FUNCIÓN COMPARADOR

## Descripción

La función **Comparación de 2 valores** permite comparar dos valores analógicos.

La salida está activa si el resultado de la comparación entre el **Valor 1** y el **Valor 2** es verdadero **y** si la entrada **Validación función** está activa o no conectada.

La salida no cambia de estado si la entrada de **Validación función** pasa de estado Activo a estado Inactivo.

Los operadores de comparación que se pueden elegir desde la ventana **Parámetros** son los siguientes:

Símbolo	Descripción
>	Superior
≥	Superior o igual
=	Igual
≠	Diferente
≤	Inferior o igual
<	Inferior

## Acceso

Se puede acceder a esta función  desde la barra de funciones **BDF**.

## Entradas/salidas

La función dispone de:

- Una entrada **Validación de función** de tipo DIG
- Una entrada **Valor 1** de tipo entero
- Una entrada **Valor 2** de tipo entero

Si la entrada de **Valor 1** o **Valor 2** no está conectada, el valor se pone a 0.

La función proporciona una **Salida** de tipo DIG.

# FUNCIÓN MULTIPLICACIÓN-DIVISIÓN

## Descripción

La **Función aritmética MUL-DIV** permite efectuar operaciones sencillas en enteros:

- Multiplicación
- División

Fórmula de cálculo:

SALIDA DE CÁLCULO = ENTRADA1\*ENTRADA2/ENTRADA3

## Acceso

Se puede acceder a esta función  desde la barra de funciones **BDF**.

## Entradas/salidas

Descripción de las entradas:

- **Entrada1:** primer valor de entrada de la fórmula ([entero](#)).
- **Entrada2:** segundo valor de entrada de la fórmula ([entero](#)).
- **Entrada3:** tercer valor de entrada de la fórmula ([entero](#)).

**NOTA:** Si las ENTRADAS no están conectadas, se fijan en 1.

- **Propagación de error:** esta entrada de tipo [DIG](#) sirve para propagar errores (o saturaciones) provenientes de funciones de cálculo ( ADD-SUB o MUL/DIV ) efectuadas la parte superior.

**NOTA:** Si **Propagación de error** se ajusta en 1, las operaciones no se llevarán a cabo, y la salida **Error/Desborde** se pondrá a 1.

**NOTA:** Si la entrada **Propagación de error** no está conectada, se ajusta en 0.

Descripción de las salidas:

- **Salida de cálculo:** es el valor de salida de la fórmula de cálculo ([entero](#)).
- **Error/Desborde:** esta salida de tipo [DIG](#) indica la presencia de posibles errores de saturación).

# FUNCIÓN TEMPORIZADOR A/C

## Presentación

La función **Temporizador** permite retardar, prolongar y activar acciones durante un tiempo determinado. El **Temporizador** dispone de tres funciones:

- **Función A:** retardo en la conexión o temporización de trabajo.
- **Función C:** retardo en la desconexión o temporización de reposo.
- **Función A/C:** combinación de las dos funciones A y C.

## Acceso

Se puede acceder a la función  desde la barra de funciones **BDF**.

## Entradas/salidas

El **Temporizador** dispone de:

- Una entrada **Comando** de tipo DIG
- Una entrada **Puesta a cero** de tipo DIG

El temporizador proporciona:

- Una salida de tipo DIG
- La copia de la consigna del retardo en la activación (1)
- La copia de la consigna del retardo en la desactivación (1)
- El valor actual del retardo en la activación (1)
- El valor actual del retardo en la desactivación (1)

## Parámetros

### En la herramienta

Desde la ventana **Parámetros** se puede ajustar el valor de los retardos de cada una de las funciones (A, C y A/C).

- **Retardo MARCHA** para la función A
- **Retardo PARO** para la función C
- La combinación de los dos retardos MARCHA y PARO permite ajustar la función A/C.

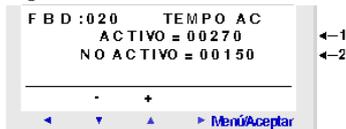
Cuando el parámetro **Remanencia** está seleccionado permite reiniciar el temporizador en donde se había detenido tras un [corte de alimentación](#).

### Desde el panel frontal

Desde el menú **PARÁMETROS** puede ajustar los siguientes valores:

- La duración del impulso **Tiempo en estado activo (1)**.
- La duración entre dos impulsos **Tiempo en estado inactivo (2)**.

Imagen:

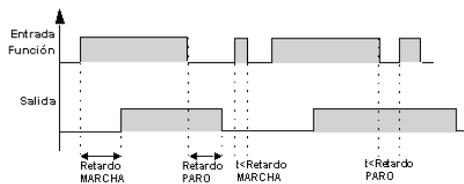


## Bloqueo de parámetros

El bloqueo prohíbe la modificación de los parámetros del bloque de función bloqueado desde el panel frontal del módulo lógico en el menú **PARÁMETROS**.

## Función A/C

La figura que aparece a continuación ilustra el funcionamiento del temporizador en la función A/C:



# FUNCIÓN TEMPORIZADOR B

## Descripción

La función **Temporizador B/H** crea en el flanco ascendente de la entrada un impulso en la salida.

El tratamiento de la entrada **Comando** conlleva dos tipos de funciones:

- **Función B**: independientemente de la duración del impulso de comando, la salida permanece activa durante un tiempo configurado.
- **Función H**: la salida permanece activa transcurrido un tiempo establecido o en el flanco descendente del comando.

La activación de la entrada **Puesta a cero** permite dejar inactiva la salida.

## Acceso

Se puede acceder a esta función  desde la barra de funciones **BDF**.

## Entradas/salidas

La función dispone de:

- una entrada **Comando** de tipo DIG,
- una entrada **Puesta a cero** de tipo DIG, que permanece inactiva si no se conecta.

La función proporciona:

- una **Salida** de tipo DIG,
- la copia de la consigna de la duración del impulso (1),
- el valor actual del impulso (1).

(1) Estos valores de tipo entero se visualizan en los modos Simulación y Monitorización.

## Parámetros

### En la herramienta

En la ventana **Parámetros** podrá ajustar lo siguiente:

- la duración del impulso **Tiempo de Marcha** valor comprendido entre 0 y 32.767 (x 100ms),
- la selección de la **Función B** o de la **Función H**

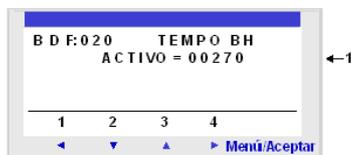
En el caso de la **Función H**, el parámetro **Remanencia**, en caso de estar seleccionado, permite reiniciar el proceso donde se había detenido tras un [corte de alimentación](#).

### Desde el panel frontal

En el menú **PARÁMETROS** podrá ajustar:

- la duración del impulso **Tiempo en estado activo** (x 100 ms), (1).

### Ilustración:



## Bloqueo de parámetros

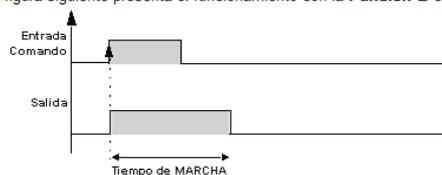
El bloqueo prohíbe la modificación de los parámetros del bloque de función bloqueados desde el panel frontal del módulo lógico en el menú **PARÁMETROS**.

## Remanencia

Para garantizar la remanencia tras un corte de alimentación de los módulos lógicos, será necesario activar la casilla **Remanencia** en la ventana de parámetros.

## Función B

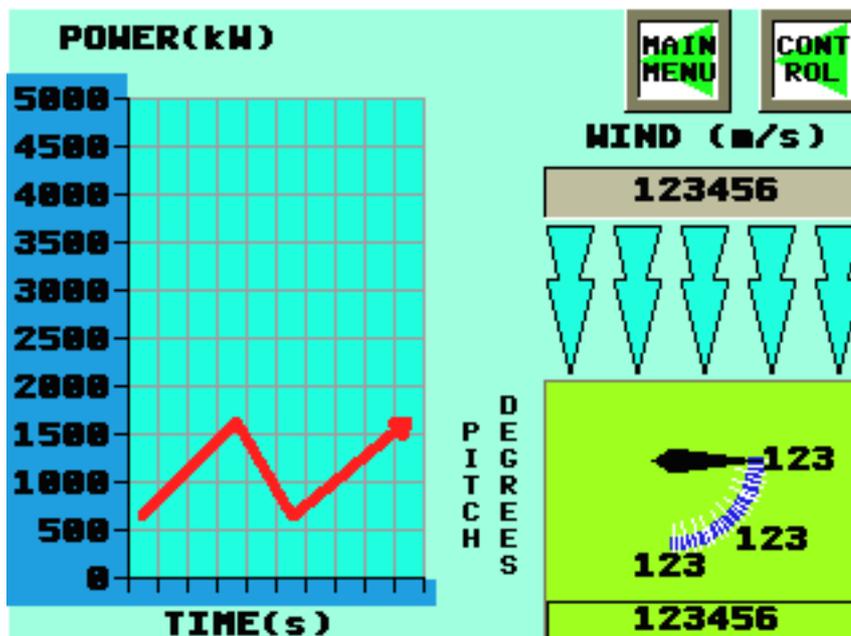
La figura siguiente presenta el funcionamiento con la **Función B** configurada:



## ANEXO 2 : PROGRAMACIÓN DEL HMI



Panel de Inicio



Panel de Estado



Panel de Control

# ANEXO 3: COMPARATIVA DE CATÁLOGOS

## PLC

### OMRON

CPU Unit	CPU type	Specifications				Model	Standards
		Power supply	Output method	Inputs	Outputs		
<b>CP1L-L CPU Units with 20 Points</b> 	<b>Memory capacity: 5K steps</b> <b>High-speed counters: 100 kHz, 4 axes</b> <b>Pulse outputs: 100 kHz, 2 axes</b> <b>(Models with transistor outputs only)</b>	AC power supply	Relay output	12	8	CP1L-L20DR-A	UC1, N, L, CE
			Transistor output (sinking)			CP1L-L20DT-A	
		DC power supply	Relay output			CP1L-L20DR-D	
			Transistor output (sinking)			CP1L-L20DT-D	
<b>CP1L-L CPU Units with 14 Points</b> 	<b>Memory capacity: 5K steps</b> <b>High-speed counters: 100 kHz, 4 axes</b> <b>Pulse outputs: 100 kHz, 2 axes</b> <b>(Models with transistor outputs only)</b>	AC power supply	Relay output	8	6	CP1L-L14DR-A	UC1, N, L, CE
			Transistor output (sinking)			CP1L-L14DT-A	
		DC power supply	Relay output			CP1L-L14DR-D	
			Transistor output (sinking)			CP1L-L14DT-D	
<b>CP1L-L CPU Units with 10 Point</b> 	<b>Memory capacity: 5K steps</b> <b>High-speed counters: 100 kHz, 4 axes</b> <b>Pulse outputs: 100 kHz, 2 axes</b> <b>(Models with transistor outputs only)</b>	AC power supply	Relay output	6	4	CP1L-L10DR-A	UC1, N, L, CE
			Transistor output (sinking)			CP1L-L10DT-A	
		DC power supply	Relay output			CP1L-L10DR-D	
			Transistor output (sinking)			CP1L-L10DT-D	
			Transistor output (sourcing)			CP1L-L10DT1-D	

Note: 1. Refer to "Models and Software Versions" about supported software.  
 2. Refer to "Option Unit Specifications" about supported Option Units.

### Schneider Electric



SR3 B101BD



SR3 XT61BD

#### Relé inteligente Modular con pantalla - Ampliable

Número de E/S	Entradas discretas	Entradas analógicas 0-10 V admisibles	Salidas relé	Salidas transistor	Reloj	Referencia
<b>Alimentación --- 24 V</b>						
10	6	4	4	0	Si	SR3 B101BD
	6	4	0	4	Si	SR3 B102BD
26	16	6	10 (1)	0	Si	SR3 B261BD
	16	6	0	10	Si	SR3 B262BD
<b>Alimentación ~ 100-240 V</b>						
10	6	0	4	0	Si	SR3 B101FU
26	16	0	10 (1)	0	Si	SR3 B261FU

#### Módulos de extensión de E/S digitales (2)

Número de E/S	Entradas discretas	Salidas relé	Referencia
<b>Alimentación --- 24 V (para relé inteligente SR3 B●●●BD)</b>			
6	4	2	SR3 XT61BD
10	6	4	SR3 XT101BD
14	8	6	SR3 XT141BD
<b>Alimentación ~ 100-240 V (para relé inteligente SR3 B●●●FU)</b>			
6	4	2	SR3 XT61FU
10	6	4	SR3 XT101FU
14	8	6	SR3 XT141FU

#### Módulos de extensión de E/S análogas

Número de I/O	Número de entradas	admisibles 0 - 10 V	admisibles 0 - 20 mA	admisibles Pt100	salida 0 - 10 V	Referencia
4	2	2 max	2 max	1 max	2	SR3 XT43BD

Terminal programable escalable	NS12	NS10	NS8	NS5	Terminal portátil NS5
					
<b>Pantalla</b>	Pantalla TFT de color de 12,1"	Pantalla TFT de color de 10,4"	Pantalla TFT de color de 8,4"	Pantalla TFT de color de 5,7"	Pantalla TFT de color de 5,7"
<b>Resolución</b>	640 x 480 píxeles	640 x 480 píxeles	640 x 480 píxeles	320 x 240 píxeles	320 x 240 píxeles
<b>Número de colores</b>	16.777.216 colores (32,768 bits por píxel)	256 colores (32,768 para datos de imágenes)	256 colores (32,768 para datos de imágenes)	256 colores (32,768 para datos de imágenes)	256 colores (4096 colores para datos de imágenes)
<b>Memoria</b>	64 MB de memoria de pantalla, memoria interna de 32,768 canales + 32,768 bits y memoria no volátil de 8192 canales + 8192 bits	60 MB de memoria de pantalla, memoria interna de 32,768 canales + 32,768 bits y memoria no volátil de 8192 canales + 8192 bits	60 MB de memoria de pantalla, memoria interna de 32,768 canales + 32,768 bits y memoria no volátil de 8192 canales + 8192 bits	60 MB de memoria de pantalla, memoria interna de 32,768 canales + 32,768 bits y memoria no volátil de 8192 canales + 8192 bits	20 MB de memoria de pantalla, memoria interna de 32,768 canales + 32,768 bits y memoria no volátil de 8192 canales + 8192 bits
<b>Opciones</b>	Ethernet, Controller Link, tarjeta de entrada de vídeo (RGB/Composite)	Ethernet, Controller Link, tarjeta de entrada de vídeo (RGB/Composite)	Ethernet, tarjeta de entrada de vídeo (RGB/Composite)	Ethernet	Comunicaciones RS-232 ó RS-422 según el cable
<b>Dimensiones en mm (al. x an. x f.)</b>	121 x 241 x 48,5	315 x 241 x 48,5	232 x 177 x 48,5	195 x 142 x 54	223 x 176 x 70,5 (sin incluir el botón de emergencia)

Schneider Electric

Terminales de diálogo operativos

Terminales gráficos con pantalla táctil Magelis XBT GT con pantalla de 3,8"

Características

Tipo de terminal	XBT RT500	XBT GT1105	XBT GT1130	XBT GT1135	XBT GT1335
<b>Entorno</b>					
Conformidad con las normas	EN 61131-2, IEC 61000-6-2, FCC (Clase A), UL 508, UL 1604 (1), CSA C22-2 n°14				
Homologaciones	CE, cULus, CSA, Clase 1 Div 2 T4A o T5 (UL y CSA) (1), C-Tick, zona ATEX 2/22 (1)				
Temperatura	0...50°C Para funcionamiento Para almacenamiento: -20...+60°C				
Humedad relativa	0...85% (sin condensación)   0...90% (sin condensación)				
Altitud	< 2.000 m				
Grado de protección	Panel frontal: IP 65 según IEC60529, Nema 4X (con montaje mediante 4 tornillos de estribo) Panel posterior: IP 20 según IEC 60529				
Resistencia a los choques	Según IEC 60068-2-27; impulso semisinusoidal 11 ms, 15 g en los 3 ejes				
Vibraciones	Según IEC 60068-2-6; 5...9 Hz a 3,5 mm; 9...150 Hz a 1 g				
E.S.D.	Según IEC 61000-4-2, nivel 3				
Interferencias electromagnéticas	Según IEC 61000-4-3, 10 V/m				
Interferencias eléctricas	Según IEC 61000-4-4, nivel 3				
<b>Características mecánicas</b>					
Montaje y fijación	Montaje en panel de 1,6...5 mm de grosor	Montaje empotrado, fijado con 4 tornillos estribo (incluidos) o 2 abrazaderas resorte (deben pedirse por separado)			
Material	Cofre	Policarbonato / tereftalato de polietileno			
Teclas	6 teclas de función marcadas R1...R6		6 teclas de función marcadas R1...R6		
<b>Características eléctricas</b>					
Fuente de alimentación	Desequilibrado	±24 V			
Límites		±19.2...±28.8 V			
Corte de tensión		≤ 2 ms			
Corriente de llamada		≤ 50 A	≤ 60 A	≤ 60 A	≤ 60 A
Reactiva		7 W	13 W	7 W	13 W
<b>Características de funcionamiento</b>					
Pantalla LCD	Tipo: STN monocroma retroiluminada   Color: ámbar o rojo con 8 niveles de gris   Definición: 320 x 240 píxeles (QVGA)   Tamaño (An x Al): 3,8" (76,7 x 57,5 mm)   Zona táctil: Película resistiva, Analógico   Retroluminación (vida útil): 50.000 horas usada en ámbar, 10.000 usada en rojo   Ajustes: Brillo: 2 niveles desde panel táctil   Contraste: 16 niveles   Fuentes de caracteres: 8 niveles desde el panel táctil				TFT a color   256 colores   40.000 horas   2 niveles desde panel táctil   16 niveles   ASCII, japonés (ANK, Kanji), chino (chino simplificado), taiwanés (chino tradicional), coreano
Aplicación de diálogo	Número máx. de páginas	Limitado por la capacidad de memoria Flash EPROM interna			
Señalización		1 LED: verde para funcionamiento normal			
Sistema operativo/Procesador	Magelis CPU RiSC	100 MHz	200 MHz	100 MHz	200 MHz
Memoria	Aplicación: Flash EPROM   Copia de seguridad de los datos: Modicon	8 Mb	32 Mb	8 Mb	32 Mb
Protocolos Schneider Electric		Modbus, Uni-TE			
Protocolos de otras marcas	Mitsubishi: Melsec   Omron: Sysmac   Rockwell Automatismos: Allen-Bradley	A Link (SIO)   FINS (SIO), LINK (SIO)   DF1-Full Duplex, DH 485   A/Q Ethernet (TCP), Q Ethernet (UDP)   FINS (Ethernet)   Ethernet IP (PLC5, SLC500, MicroLogix, ControlLogix), Ethernet IP (Logix)			

# Variador de Frecuencia

OMRON



VZ

## V1000

### Mejor rendimiento y calidad en menos espacio

- Control vectorial de corriente
- Alto par de arranque (200% / 0,5 Hz)
- Rango de control de velocidad 1:100
- Doble valor nominal: HD de 150%/1min y ND de 120%/1 min.
- Control de motores IM y PM (asíncrono y síncrono)
- Ajuste en marcha
- Nueva tecnología de portadora y ruido bajo
- 10 años de vida útil sin mantenimiento
- Filtro incorporado
- Terminales sin tornillos
- Tarjeta de terminales extraíble con memoria de parámetros
- Fuente de alimentación opcional de 24 V c.c. para la placa de control
- Comunicaciones de bus de campo: Modbus, Profibus, CanOpen, DeviceNet, Lonworks, CompoNet, Ethernet
- Seguridad incorporada (EN954-1, categoría de seguridad 3)
- CE, UL, cUL y TUV

### Valores nominales

- Monofásico clase 200 V: 0,1 a 4 kW
- Trifásico clase 200 V: 0,1 a 15 kW
- Trifásico clase 400 V: 0,2 a 15 kW



### Circuito de control

Tipo	Nº	Nombre de señal	Función	Nivel de señal
Señales de entrada digital	S1	Selección de entrada multifuncional 1	Configuración de fábrica: en marcha directa si está cerrada, para si está abierta.	Aislamiento fotoacoplado 24 V c.c., 8 mA
	S2	Selección de entrada multifuncional 2	Configuración de fábrica: en marcha inversa si está cerrada, para si está abierta.	
	S3	Selección de entrada multifuncional 3	Configuración de fábrica: Fallo externo (NA)	
	S4	Selección de entrada multifuncional 4	Configuración de fábrica: Reset de fallo	
	S5	Selección de entrada multifuncional 5	Configuración de fábrica: Comando de multivelocidad 1	
	S6	Selección de entrada multifuncional 6	Configuración de fábrica: Comando de multivelocidad 2	
	SC	Común de entradas multifuncionales	Común para señales de control	
Señales de entrada analógica	RP	Entrada de tren de pulsos para comando de velocidad principal	32 kHz máx.	
	FS	Fuente de alimentación para configuración de frecuencia	+10 V (corriente máx. admisible 20 mA)	
	FR1	Referencia de frecuencia de la velocidad principal	Entrada de tensión o entrada de corriente 0 a +10 V c.c. (20 kΩ) (resolución 1/1000)	
	FR2		4 a 20 mA (250 Ω) ó 0 a 20 mA (250 Ω) Resolución: 1/500	
	FC	Común de referencia de frecuencia	0 V	
Comando de parada rápida	HC	Fuente de alimentación para el comando de parada rápida	+24 V (corriente máx. admisible 10 mA)	
	H1	Entrada digital especial de seguridad	Función de seguridad	
	H2	Entrada digital especial de seguridad	Abierto: Parada rápida Cerrado: Funcionamiento normal	

ATV312HU75N4  
variador de velocidad ATV312 - 7,5 kW - 18  
kVA - 269 W - 380..500 V - trifásico



PVR\*: 1523.56 EUR



Principal

Estatus comercial	Comercializado
Gama de producto	Altivar 312
Tipo de producto o componente	Variador de velocidad
Destino del produc	Motores asíncronos
Aplicación específica producto	Máquina simple
Estilo de conjunto	Con disipación de calor
Nombre de componente	ATV312
Potencia del motor en kW	7.5 kW
Potencia del motor en CV	10 hp
[Us] tensión de alimentación nominal	380...500 V (- 15...10 %)
Frecuencia de alimentación	50...60 Hz (- 5...5 %)
Número de fases de la red	3 fases
Corriente de línea	21 Afor 500 V 27.7 Afor 380 V, 22 kA

Tensión de salida	<= de la potencia de la tensión de alimentación
Par de apriete	2.5 N.m L1, L2, L3, U, V, W, PA, PB, PA+, PC/- 0.6 N.m AI1, AI2, AI3, AOV, AOC, R1A, R1B, R1C, R2A, R2B, LI1...LI6
Aislamiento	Eléctrico entre alimentación y control
Número de entrada analógica	3
Tipo de entrada analógica	AI3 corriente configurable 0...20 mA, impedancia 250 Ohm AI2 tensión configurable +/- 10 V, tensión de entrada 30 V max, impedancia 30000 Ohm AI1 tensión configurable 0...10 V, tensión de entrada 30 V max, impedancia 30000 Ohm
Duración de muestreo	LI1...LI6 4 msfor discreta AI1, AI2, AI3 8 msfor analógica
Tiempo respuesta	R1A, R1B, R1C, R2A, R2B 8 msfor discreta AOV, AOC 8 msfor analógica
Error lineal	+/-0.2 %for salida
Número de salida analógica	1
Tipo de salida analógica	AOV tensión configurable 0...10 V, impedancia 470 Ohm, resolución 8 bits AOC corriente configurable 0...20 mA, impedancia 800 Ohm, resolución 8 bits
Entrada lógica	(LI1...LI6) lógica positiva (source), < 5 V (estado 0), > 11 V (estado 1) (LI1...LI6) lógica negactiva (fuente), > 19 V (estado 0) (LI1...LI4) entrada lógica no cableada, < 13 V (estado 1)
Número de salida digital	2
Salida discreta	(R2A, R2B) lógica relé configurable NC, durabilidad eléctrica 100000 ciclos (R1A, R1B, R1C) lógica relé configurable 1 a + 1 NC, durabilidad eléctrica 100000 ciclos
Corriente de conmutación mínima	R1-R2 10 mA en 5 V CC
Corriente de conmutación máxima	R1-R2 sobre resistivo carg, 5 A en 30 V CC, cos phi = 1, L/R = 0 ms R1-R2 sobre resistivo carg, 5 A en 250 V CA, cos phi = 1, L/R = 0 ms R1-R2 sobre inductivo carg, 2 A en 30 V CC, cos phi = 0.4, L/R = 7 ms R1-R2 sobre inductivo carg, 2 A en 250 V CA, cos phi = 0.4, L/R = 7 ms
Número de entrada digital	6
Entrada discreta	(LI1...LI6) programable, 24 V 0...100 mA con PLC, impedancia 3500 Ohm
Rampas de aceleración y deceleración	Lineal ajustable por separado de 0,1 a 999,9 s S, U o personalizado
Frenado hasta parada	Mediante inyección de CC

a nos comprometen hasta después de una confirmación por parte de nuestros servicios.  
 los con respecto a la aplicación específica o uso de los productos.  
 temida. \*(C= A Consultar). Precios por 1 unidad. Los precios de las tarifas pueden sufrir variación y, por tanto, el material será siempre facturado a los precios y

