

UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID
ESCUELA POLITECNICA
INGENIERIA INDUSTRIAL



SISTEMA DE MONITORIZACIÓN DE
MÁQUINAS ELÉCTRICAS CON LABVIEW

TUTOR: Joaquín Eloy-García Carrasco

DIRECTOR: Jorge Valero Rodríguez

AUTOR: Koku Akapo Lobede

Sistema de monitorización de máquinas eléctricas con Labview

Universidad Carlos III de Madrid

Ingeniería Industrial

UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID

PROYECTO FIN DE CARRERA

Sistema de monitorización de máquinas eléctricas con Labview

Autor: Koku Akapo Lobede

Tutor: Joaquín Eloy-García Carrasco

Director: Jorge Valero Rodríguez

Firma del tribunal calificador

Presidente:

Fdo.:

Secretario:

Fdo.:

Vocal:

Fdo.:

Suplente:

Fdo.:

CALIFICACIÓN:

AGRADECIMIENTOS

Agradecer especialmente a mi familia por todo el apoyo recibido en especial a mi madre, a mi tutor de proyecto Quino y director de proyecto Jorge por toda la ayuda recibida durante el proyecto, a mi novia Silvia, a mis amigos y a mis compañeros del laboratorio de GCSP en especial a Luis y Bárbara con los que las tardes de trabajo se hacían más fáciles y amenas.

Especial recuerdo para ti Manuel Fernández Matariobo “Lolo”, primo no te olvidamos D.E.P

ÍNDICE

INDICE DE FIGURAS	6
INDICE DE TABLAS	9
CAPÍTULO 1 Introducción	10
CAPÍTULO 2 Parametrización del variador	12
2.1. Conexionado y puesta en marcha.	12
2.2. Convertidor CFW11	17
2.2.1. Características Generales.	17
2.2.2 HMI	18
2.2.3. Especificaciones técnicas.	20
2.3. Modos de control y parámetros de monitoreo.	20
2.3.1. Parámetros.	21
2.3.2. Puesta en marcha.	23
2.3.3. Control v/f.	25
2.3.4. Control vectorial.	30
2.4. Entradas y salidas analógicas y digitales.	43
2.4.1. Entradas y salidas analógicas.	43
2.4.2. Entradas y salidas digitales.	46
Capítulo 3 Circuito de maniobra para las entradas y salidas digitales.	48
CAPÍTULO 4 Labview	50
4.1. Software Labview.	50
4.1.1 Indicadores.	52
4.1.2 Estructuras.	52
4.1.3 Paleta de Controles y Funciones.	54
4.2. Tarjeta de adquisición de datos NI-USB6009.	55
CAPÍTULO 5 Sistema de monitorización	62
5.1 Menú Principal.	64
5.2 Modo V/f y Vectorial.	64
5.2.1 Resultados Modo V/f.	71
5.3 Modo Multispeed.	80
5.3.1 Resultados.	81
CAPÍTULO 6 Presupuesto	86

CAPÍTULO 7 Conclusiones	88
--------------------------------	-----------

BIBLIOGRAFIA:	90
----------------------	-----------

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Bancada motor Weg W22.....	12
Figura 2. Montaje en superficie I.....	12
Figura 3. Montaje en superficie II.....	13
Figura 4 Conexionado CA.....	13
Figura 5. Esquema conexionado CA.....	13
Figura 6. Conexionado de potencia y puesta a tierra	14
Figura 7 Conexionado de conector XC1	15
Figura 8. Esquema conexionado conector XC1.....	16
Figura 9 Diagrama de bloques CFW1.....	17
Figura 10 Teclado HMI.....	19
Figura 11 HMI en funcionamiento	19
Figura 12 Curva par velocidad	26
Figura 13 Curva par velocidad a par constante.....	27
Figura 14 Control v/f rampa a 3s.....	28
Figura 15 Control v/f rampa a 5s.....	29
Figura 16 Control v/f rampa S (50%) 3s.....	29
Figura 17 Control v/f rampa S (100%) 3s	30
Figura 18 Fasores espaciales	32
Figura 19 Fasores de corriente en sincronismo	34
Figura 20 Diagrama de bloques máquina inducción.....	34
Figura 21 Fasores de corrientes estáticas.....	35
Figura 22 Modelo como fuente de tensión.....	36
Figura 23Control vectorial directo de tensión	36
Figura 24 Diagrama de bloques del control vectorial sensorless.....	38
Figura 25 Diagrama de bloques control vectorial con encoder	39
Figura 26 Control vectorial 1500 rpm.....	40
Figura 27 Control vectorial 3s 1500 rpm	41
Figura 28 Control vectorial 3s Rampa S (50%).....	42
Figura 29 Control vectorial 5s 1500 rpm	42
Figura 30 Diagrama de bloques de las entradas analógicas	44
Figura 31 Diagrama de bloques salidas analógicas	45
Figura 32 Convertidor DC/DC TME2405.....	48
Figura 33. Circuito integrado CD4504B.....	49
Figura34 Pines del Circuito integrado CD4504B	49
Figura35 Esquema de funcionamiento del circuito integrado	49
Figura 36. Circuito maniobra E/S Digitales	50
Figura37 Vista Panel Frontal.....	51

Figura38 Vista Diagrama de Bloques	51
Figura39 Bloque Case Structure.....	52
Figura40 Bloque Sequence Structure.....	53
Figura41 Bloque While Loop.....	53
Figura42 Bloque For Loop.....	53
Figura43 Bloque Event Structure	54
Figura44 Paleta de Controles.....	54
Figura45 Paleta de Funciones.....	55
Figura 46. Tarjeta NI USB 6009.....	55
Figura 47 Diagrama de bloques NI 6009	56
Figura 48 Asignación de pines analógicos	57
Figura 49 Asignación de pines digitales.....	58
Figura 50 Circuito entradas analógicas	60
Figura51 Circuito salidas analógicas	60
Figura52 Circuito E/S digitales.	61
Figura 53 Ventana ubicación del instalador	62
Figura 54 Ventana instalador II	63
Figura 55 Ubicación ejecutable Menú Windows.....	63
Figura 56 Menú Sistema Monitorización.....	64
Figura 57 Panel Frontal Modo V/f & Vectorial.....	64
Figura 58 Panel de velocidad.....	65
Figura 59 Panel de corriente.....	65
Figura 60 Panel de tensión	66
Figura 61 Panel potencia aparente.....	66
Figura 62 Panel potencia activa.....	66
Figura 63 Panel potencia reactiva.....	66
Figura 64 Indicador velocidad consigna	67
Figura 65 Indicador factor de potencia	67
Figura 66 Indicador ángulo phi motor	67
Figura 67 Controlador velocidad consigna.....	67
Figura 68 Pulsador marcha/paro.....	67
Figura 69 Pulsdor sentido giro.....	68
Figura 70 Pulsador 1ª/2ª rampa.....	68
Figura 71 Controlador sonda de corriente.....	68
Figura 72 Controlador sonda de tensión	68
Figura 73 Controlador corriente nominal.....	68
Figura 74 Indicador estado convertidor	69
Figura 75 Indicador motor.....	69
Figura 76 Indicador sobrecorriente convertidor	69
Figura 77 Indicador sobrecorriente motor.....	69
Figura 78 Cuadro diálogo <i>guardar resultados</i>	70
Figura 79 Cuadro diálogo <i>salir aplicación</i>	70
Figura 80 Ejemplo archivo Excel	71
Figura 81 Modo V/f Rampa 3s.....	71
Figura 82 Modo V/f Rampa 10s	72

Figura 83 Tensión motor vs Corriente motor	72
Figura 84 Tensión vs Corriente V/f 3s.....	73
Figura 85 Tensión vs Corriente V/f 10s.....	73
Figura 86 Potencia S V/f 3s.....	74
Figura 87 Potencia S V/f 10s.....	75
Figura 88 Potencia P V/f 3s.....	75
Figura 89 Potencia P V/f 10s.....	76
Figura 90 Potencia Q V/f 3s.....	76
Figura 91 Potencia Q V/f 10s.....	77
Figura 92 Sentido giro V/f.....	77
Figura 93 Potencia S sentido giro V/f.....	78
Figura 94 Potencia P sentido giro V/f.....	79
Figura 95 Potencia Q sentido giro V/f.....	79
Figura 96 Panel frontal Modo Multispeed.....	80
Figura 97 Ejemplo velocidades Multispeed	81
Figura 98 Combinación entradas digitales Multispeed	81
Figura 99 Velocidad vs I. conv 3 velocidades.....	81
Figura 100 Velocidad vs I.conv 4 velocidades.....	82
Figura 101 Potencia S 3 velocidades	82
Figura 102 Potencia S 4 velocidades	83
Figura 103 Potencia P 3 velocidades	83
Figura 104 Potencia P 4 velocidades	84
Figura 105 Potencia Q 3 velocidades.....	84
Figura 106 Potencia Q 4 velocidades.....	85

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Características motor WQuattro.....	11
Tabla 2 Identificación del CFW	18
Tabla 3 Ejemplo grupos de parámetros.....	20
Tabla 4 Especificaciones técnicas modo ND.....	20
Tabla 5 Especificaciones técnicas modo HD.....	20
Tabla 6 Lista de parámetros I	21
Tabla 7 Tabla de parámetros II.....	22
Tabla 8 Tabla de parámetros III.....	23
Tabla 9 Valores para las entradas analógicas	43
Tabla 10 Funciones de las salidas analógicas.....	44
Tabla 11 Valores de las salidas analógicas.....	45
Tabla 12 Funciones entradas digitales	46
Tabla 13 Función salidas digitales.....	47
Tabla 14 Características convertidor DC/DC	48
Tabla 15 Características Circuito Integrado	49
Tabla 16 Descripción de las señales	59
Tabla 17 Costes convertidor de frecuencia	86
Tabla 18 Costes motor Weg Quttro	86
Tabla 19 Costes Labview	86
Tabla 20 Costes circuito de maniobra.....	86
Tabla 21 Costes mano de obra.....	87
Tabla 22 Coste Total.....	87

CAPÍTULO 1 Introducción

El objetivo del proyecto es implementar un sistema de monitorización de motores eléctricos en tiempo real mediante el uso de *Labview*. Se consideran variables a monitorizar todas aquellas que sean indispensables para comprobar el estado del motor (tensiones, corrientes, velocidades, etc.) y que sirvan para modificar su punto de trabajo de manera óptima (marcha/paro, protecciones, etc.)

Para la realización de sistema de monitorización se han empleado un variador de frecuencia conectado a la red para realizar el control sobre el motor, un motor (híbrido jaula de ardilla e imanes y equipos informáticos convencionales.

El variador de frecuencia empleado ha sido el modelo *CFW-11* de Weg.

Se ha empleado el motor de *Weg Quattro* de 0,75kW de potencia nominal. Para la parametrización del motor y del variador se han empleado tanto el software propio del variador (*SuperDrive G2*) como el entorno de *Labview*.

Los sistemas de comunicación que se han empleado son la tarjeta de adquisición de datos de *National Instruments NI USB 6009*, que trabajará directamente con las salidas analógicas y digitales del variador y con la toma de datos del sistema de monitorización.

El sistema de monitorización se ha diseñado de manera que se puedan monitorizar los principales parámetros eléctricos (tensión y corriente) y los parámetros mecánicos (par y velocidad) del motor, dentro de una interfaz que resulte de fácil manejo y que permita el control y lectura de forma rápida e intuitiva. El diseño se ha realizado mediante *Labview* debido a que permite la programación en un entorno gráfico y además proporciona las herramientas necesarias para la creación de estructuras de control, supervisión y operación mediante sus *VI's (Virtual Instruments)*. Dentro de la estructura del sistema se podrán distinguir tres principales grupos: zona de monitorización donde se podrá ver el estado de las variables del motor, zona de control y operación donde se podrán dar consignas de funcionamiento y cambiar parámetros del convertidor y una última zona donde se podrá comprobar el estado del convertidor y del motor, viendo si se ha producido algún fallo o el funcionamiento está dentro de los límites de funcionamiento establecidos.

Los modos de funcionamiento de los motores son el funcionamiento en control tensión-frecuencia (V/f), control vectorial (sensorless o con encoder) y modo Multispeed (introducción de escalones velocidad pudiendo ser el control V/f o Vectorial).

- En el **modo V/f**, se realiza un control escalar en la máquina. Las variables a tener en cuenta son la tensión, la frecuencia y la velocidad del motor. En este caso el variador actúa como fuente de tensión según se haya seleccionado la curva V/f. Este modo de funcionamiento es muy sencillo y apenas es necesario modificar los valores patrón de funcionamiento del variador salvo aplicaciones especiales. Este tipo de funcionamiento es conveniente cuando se vaya a trabajar con varios motores con el mismo convertidor (modo multimotor) o cuando se vayan a realizar pruebas de funcionamiento simples, funcionamientos a baja carga o cuando la respuesta dinámica no sea muy rápida.

- En el modo de **control vectorial**, se ha empleado el modo sensorless debido a la mayor facilidad y comodidad para realizar las pruebas correspondientes. Este modo de operación se basa en el control orientado de campo (FOC), en el que se establece una velocidad consigna y se consigue una alta precisión del 0,5% de la velocidad. Este tipo de control se recomienda cuando se exigen altas respuestas en dinámica y cuando la corriente nominal del motor es mayor de 1/3 de la corriente nominal del variador. Otra ventaja que presenta este tipo de control es la robustez ante variaciones bruscas de la tensión de alimentación y de la carga, evitando así sobreintensidades. [1]
- El modo de **funcionamiento Multispeed**, comparte elementos comunes a ambos tipos de control, por lo que su principal ventaja es la estabilidad de las referencias programadas e inmunidad ante ruidos electromagnéticos que puedan existir en la instalación en la que se vaya a emplear el variador. [1]

Se ha empleado el motor *Weg Quattro* cuyas características eléctricas se muestran en la Tabla 1.

- El *motor Weg Quattro* es un *motor híbrido* de imanes permanentes y jaula de ardilla. La configuración de jaula de ardilla del motor posibilita el arranque del motor de manera similar al caso de los motores asíncronos. Posteriormente, se emplean los imanes permanentes para alcanzar la velocidad de sincronismo. Las principales ventajas de este motor son fácil coordinación con motores conectados al mismo variador, mejor comportamiento ante el control escalar, no necesita una protección adicional para sobreintensidades. [2]

Motor Weg Quattro	
Potencia Nominal	0.75kW
Tensión de Alimentación	230/400 V
Par Nominal	3.5 Nm
Velocidad Nominal	1500 rpm
Nº de Polos	4
Corriente Nominal	1.55A
Cosφ (a plena carga)	0.82

Tabla 1 Características motor WQuattro

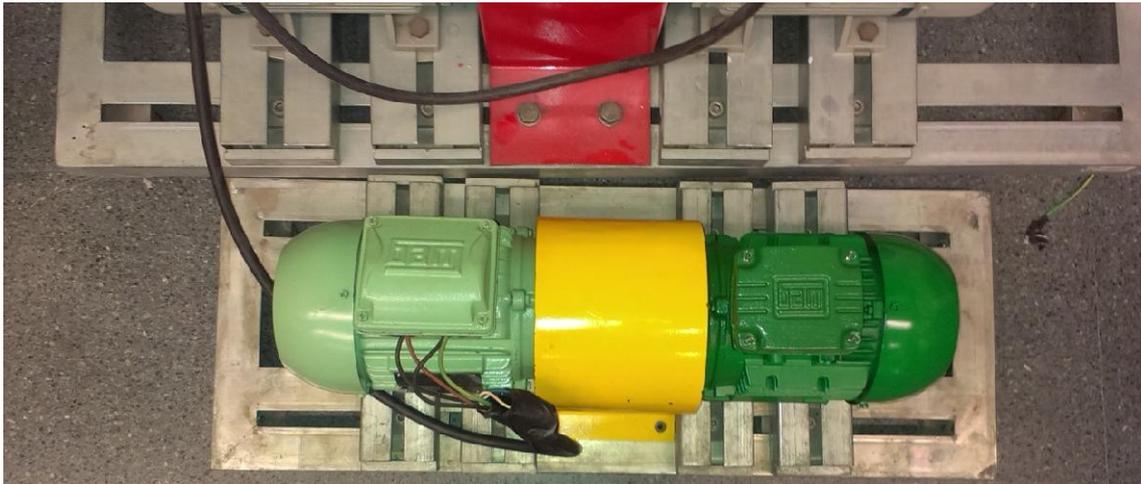


Figura 1 Bancada motor Weg W22

La tarjeta que se ha seleccionado para la adquisición de datos ha sido la de *National Instruments NI 6009* debido a que sus características se adaptan perfectamente a las entradas y salidas tanto analógicas como digitales del convertidor de frecuencia, además permite una alta velocidad de transmisión y procesamiento de datos, además es excelente para el diseño de este tipo de sistemas, en los que se realiza procesamiento de señales ya que además se adapta perfectamente al software de *Labview* ofreciendo una gran variedad de alternativas en cuanto al diseño.

CAPÍTULO 2 Parametrización del variador

2.1. Conexión y puesta en marcha.

El conexionado del variador a la red y al motor se realizará a través del montaje en superficie tal y como se indica en el siguiente esquema. [3]

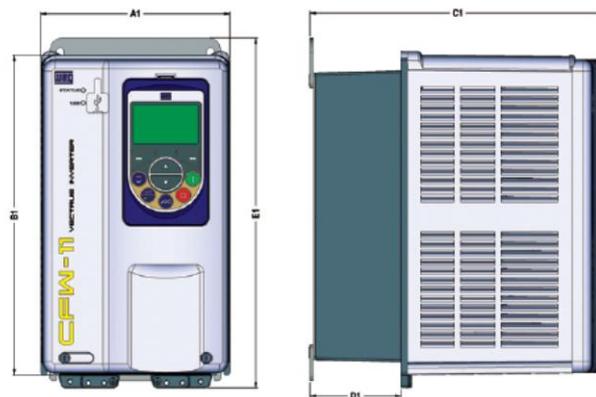


Figura 2. Montaje en superficie I

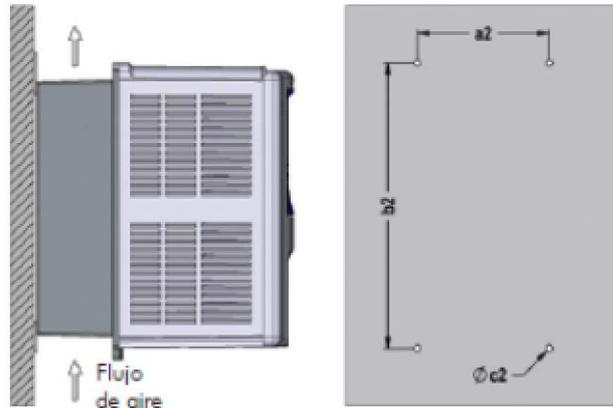


Figura 3. Montaje en superficie II

Conexión de potencia

La identificación de los terminales de alimentación del variador será la que se indica a continuación:

- R/L1, S/L2, T/L3: red de alimentación CA.
- DC-: polo negativo de la tensión CC.
- BR: conexión de la resistencia de frenado.
- DC+: polo positivo de la tensión CC.
- U/T1, V/T2, W/T3: conexiones para el motor.



Figura 4 Conexión CA

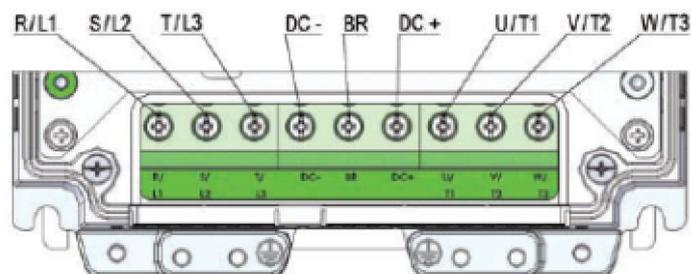


Figura 5. Esquema conexionado CA

La secuencia de fases empleada en este caso será **L1** (Negro), **L2** (Gris), **L3** (Marrón), **neutro** (Azul), **tierra** (Amarillo/Verde)

Las secciones mínimas admisibles de los conductores de alimentación tanto del variador como al motor deberán ser de 1.5 mm^2 . Teniendo un esquema equivalente del conexionado de potencia como el que aparece a continuación.

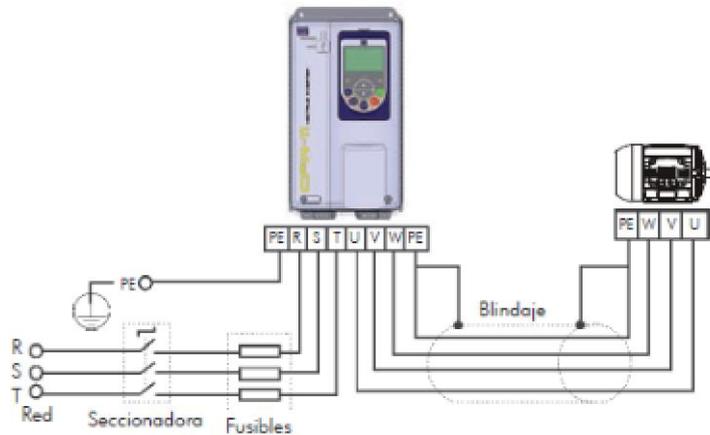


Figura 6. Conexionado de potencia y puesta a tierra

Se debe prestar especial atención a que la conexión del neutro esté conectada a la tierra.

Conexión de la Puesta a Tierra

El conductor neutro de la red que alimenta al convertidor de frecuencia debe ser aislado del sistema de puesta a tierra, sin embargo el mismo no debe ser empleado para hacer la tierra del convertidor.

El convertidor tiene que ser obligatoriamente puesto a tierra de protección (PE).

Conexión de control

Las conexiones de control (entradas/salidas analógicas/digitales), deben ser hechas en el conector XC1 de la tarjeta electrónica de control CC11.



Figura 7 Conexión de conector XC1

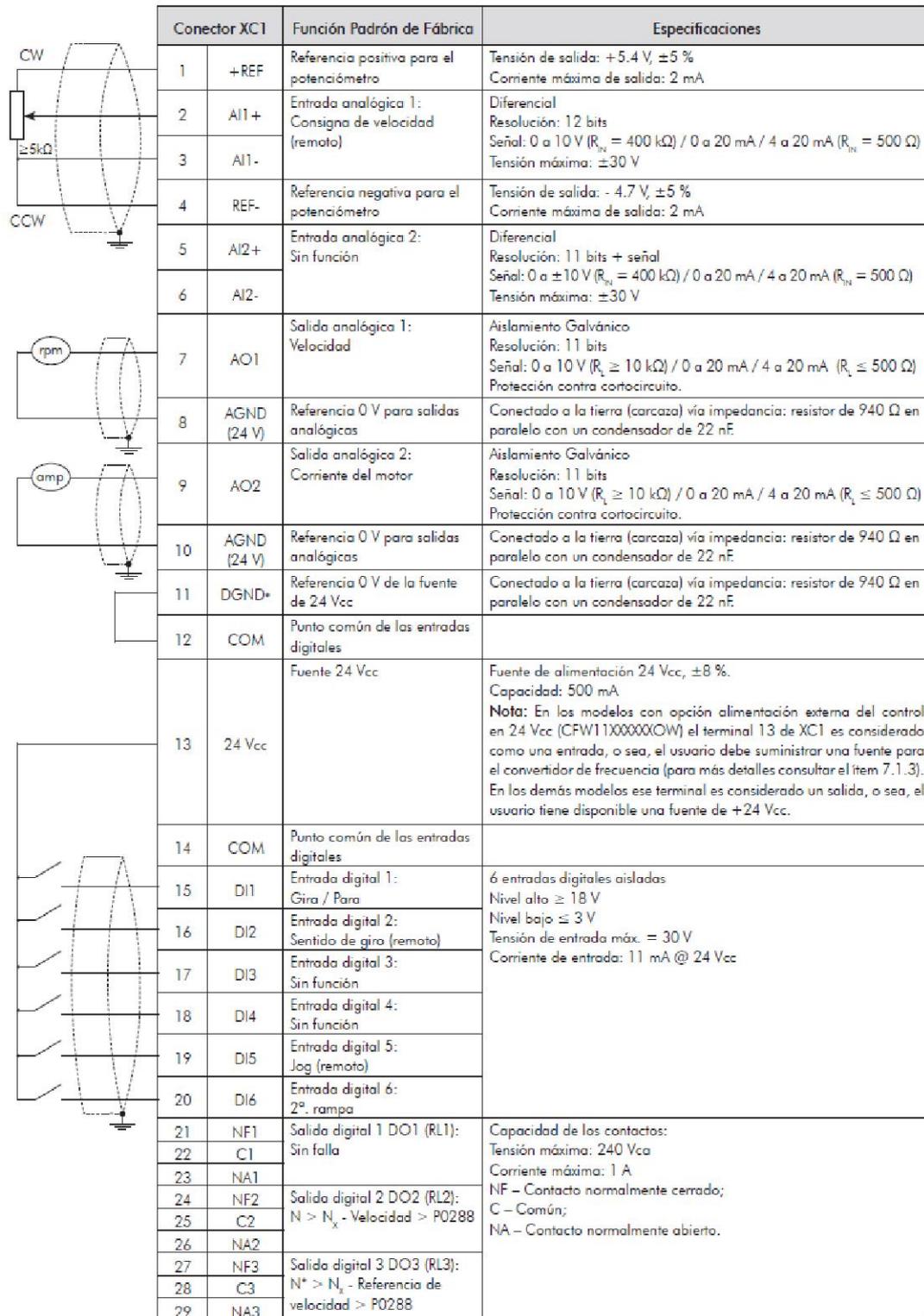


Figura 8. Esquema conexionado conector XC1

2.2. Convertidor CFW11

2.2.1. Características Generales.

El convertidor de frecuencia empleado es el modelo *CFW11003T4OFAZ* del fabricante WEG, debido a las características de los motores con los que se ha desarrollado el presente proyecto es el convertidor más adecuado para su correcto funcionamiento. El modelo *CFW11* permite el control de velocidad y por tanto para motores de inducción como motores síncronos trifásicos, las principales ventajas que presenta este modelo son:

- Control V/f o control vectorial programable en el mismo producto.
- Se puede realizar el control vectorial *sensorless* (sin necesidad de encoder conectado al eje del motor) o control vectorial con encoder.
- En el modo control vectorial *sensorless* se pueden obtener altos valores de par y una rápida respuesta dinámica en muy bajas velocidades o en el arranque.
- La función frenado óptimo para el control vectorial, permite el frenado controlado del motor, eliminando la necesidad de una resistencia de frenado adicional.
- La función autoajuste para el control vectorial permite el ajuste automático de los reguladores y parámetros de control, a partir de la identificación (automática) de los parámetros del motor y de la carga empleada.

El diagrama de bloques equivalente que emplea el convertidor en su operación habitual es el que se observa en la siguiente Figura9.

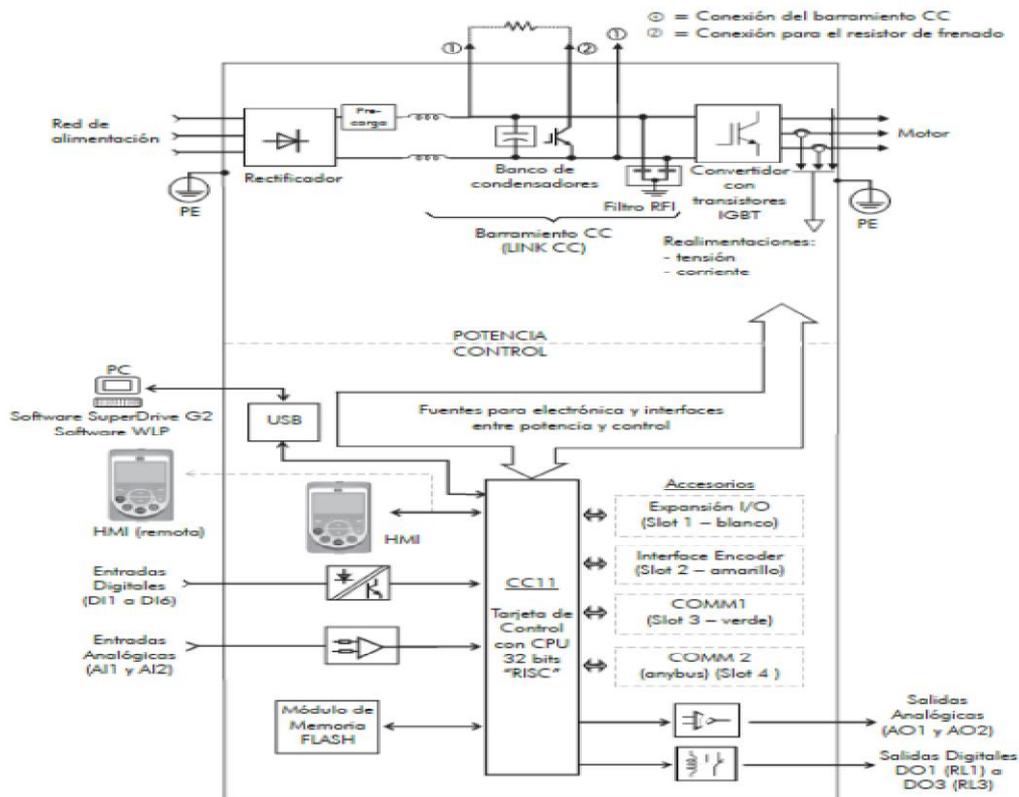


Figura 9 Diagrama de bloques CFW1

Los principales componentes en los que se divide el modelo CFW11 son las siguientes:

- Soporte de fijación.
- Disipador.
- Ventilador con soporte de fijación.
- Módulo COMM2 (anybus).
- Módulo para conexión de tarjetas accesorio.
- Tapa frontal.
- HMI (Interfaz Hombre-Máquina).

La identificación del modelo de convertidor se corresponde con el criterio propuesto por el fabricante, por lo tanto nuestro modelo es el que se muestra en la Tabla 2:

CFW110003T40FAZ		
Ejemplo	Denominación del campo	Opciones posibles
CFW11	Serie de Weg 11	-
0003	Corriente nominal en modo ND	
T	Nº fases de la alimentación	S:monofásica, T:trifásica,B:monofásica o trifásica
4	Tensión de alimentación	4:380..400V 2:200..240V
O	Opcionales	S:producto padrón O:producto con opcionales
FA	Filtro supresor de RFI	FA:Filtro supresor interno de RFI clase C3
Z	Fin de Código	

Tabla 2 Identificación del CFW

2.2.2 HMI

El interfaz hombre-máquina o HMI es el dispositivo que hace posible que se pueda comandar el variador y realizar el ajuste sobre sus parámetros, está diseñado de tal manera que su manejo sea muy cómodo y sencillo a la vez que presenta una gran variedad de opciones de funcionamiento.

Un esquema simple de descripción del HMI es el que se muestra en la figura 10:



Figura 10 Teclado HMI

Siempre que se encuentre energizado el convertidor se mostrará el HMI de una manera similar a la que se muestra a continuación, en las que se indica:

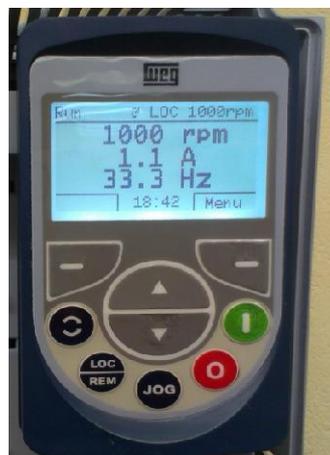


Figura 11 HMI en funcionamiento

- Sentido de giro del motor.
- Status del convertidor (*Run/Ready/Config...*).
- Indicación horaria.
- Parámetros de monitoreo (velocidad del motor, corriente del motor, frecuencia, etc.).
- Indicación de modo (Local o Remoto).
- Menú.

Una vez presionada la tecla Menú tendremos la posibilidad de seleccionar dentro del primer grupo de parámetros. Un ejemplo de la estructura que nos encontramos en el HMI es la que se muestra en la Tabla 3. El número y nombre de los parámetros puede variar dependiendo de la versión de software empleada.

Nivel 0	Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3
Monitoreo	00 Todos los parámetros		
	01 Grupos de parámetros	20 Rampas	
		21 Ref. Velocidad	
		
		29 Control Vectorial	90 Regul. Velocidad
			91 Regul. Corriente
			92 Regul. Flujo
			93 Control i/f

Tabla 3 Ejemplo grupos de parámetros

2.2.3. Especificaciones técnicas.

En régimen de uso normal (ND) (Régimen nominal y sobrecarga del 10% durante un 1 minuto) cuyas especificaciones se muestran en la Tabla 4. [2]

Tensión nominal	400 V
Corriente nominal a la salida	3.6 A
Corriente de sobrecarga	(1 min) 3.96 A
	(3 s) 5.40 A
Frecuencia nominal de conmutación	5 kHz
Corriente nominal a la entrada	3.6 A
Potencia disipada	(en superficie) 130 W
	(en flange) 25 W

Tabla 4 Especificaciones técnicas modo ND

En régimen de uso sobrecarga pesada (HD) (Régimen nominal y sobrecarga del 50% durante 1 minuto)

Tensión nominal	400 V
Corriente nominal a la salida	3.6 A
Corriente de sobrecarga	(1 min) 5.40 A
	(3 s) 7.20 A
Frecuencia nominal de conmutación	5 kHz
Corriente nominal a la entrada	3.6 A
Potencia disipada	(en superficie) 110 W
	(en flange) 25 W

Tabla 5 Especificaciones técnicas modo HD

2.3. Modos de control y parámetros de monitoreo.

En esta sección se muestra cómo se puede gobernar el motor a través las distintas opciones de control que ofrece el convertidor de frecuencia. También se hace mención a los parámetros que son necesarios conocer y modificar para la correcta realización de las distintas funciones.

Los modos de control y funcionamiento empleados para el control del motor han sido el control v/f y control vectorial, además de modos comunes a ambos controles como son el modo Multispeed o el empleo de rampas de aceleración y deceleración.

2.3.1. Parámetros.

A continuación se enumeran en las Tablas 6, 7 y 8 los parámetros que se han tenido en cuenta a la hora de realizar la parametrización del convertidor y el diseño del sistema.

Además los parámetros del convertidor se pueden clasificar de la siguiente manera:

- Lectura. (RO)
- Lectura/Escritura. (RW)
- Alterables con el motor parado. (CFG)
- Comunes a todos los modos. (COM)
- Disponibles en v/f. (VF)
- Disponibles en modo vectorial. (Vectorial)
- Disponibles en modo imanes permanentes. (PM)

P0001	Referencia de velocidad (RO)
P0002	Velocidad del motor (RO)
P0003	Corriente del motor (RO)
P0004	Tensión bus CC (RO)
P0005	Frecuencia del motor (RO)
P0006	Estado convertidor (RO)
P0007	Tensión de salida (RO)
P0012 y P0013	Estado de entradas digitales DI1 a DI8 y Estado de salidas digitales DO1 a DO5 (RO)
P0014 a P0017	Valor de salidas analógicas AO1 a AO4 (RO)
P0018 a P0021	Valor de entradas analógicas AI1 a AI4 (RO)
P0100	Tiempo de aceleración (COM)
P0101	Tiempo de desaceleración (COM)
P0104	Rampa S (COM)
P0120	Backup referencia (COM)
P0121	Referencia por la HMI (COM)
P0124 a P0131	Referencias 1 a 8 Multispeed (COM)
P0133	Velocidad mínima (COM)
P0134	Velocidad máxima (COM)
P0135	Corriente máxima de salida (v/f)
P0161	Ganancia proporcional velocidad (Vectorial)
P0162	Ganancia integral velocidad (Vectorial)
P0167	Ganancia proporcional corriente (Vectorial)
P0168	Ganancia integral corriente (Vectorial)
P0169	Máxima corriente Par + (Vectorial)
P0170	Máxima corriente Par - (Vectorial)
P0175	Ganancia proporcional flujo (Vectorial)
P0176	Ganancia integral flujo (Vectorial)
P0202	Tipo de Control (CFG)
P0220	Selección LOC/REM (CFG)
P0221	Selección Referencia LOC (CFG)
P0224	Selección Gira/Para LOC (CFG)
P0227	Selección Gira/Para REM (CFG)
P0231	Función Señal AI1 (CFG)
P0232	Ganancia Entrada AI1
P0233	Señal Entrada AI1 (CFG)
P0236	Función Señal AI2 (CFG)

Tabla 6 Lista de parámetros I

P0237	Ganancia Entrada AI2
P0238	Señal Entrada AI2 (CFG)
P0241	Función Señal AI3 (CFG)
P0242	Ganancia Entrada AI3
P0243	Señal Entrada AI3 (CFG)
P0246	Función Señal AI4 (CFG)
P0247	Ganancia Entrada AI4
P0248	Señal Entrada AI4 (CFG)
P0251	Función Salida AO1
P0252	Ganancia Entrada AO1
P0253	Señal Entrada AO1 (CFG)
P0254	Función Salida AO2
P0255	Ganancia Entrada AO2
P0256	Señal Entrada AO2 (CFG)
P0257	Función Salida AO3
P0258	Ganancia Entrada AO3
P0259	Señal Entrada AO3 (CFG)
P0260	Función Salida AO4
P0261	Ganancia Entrada AO4
P0262	Señal Entrada AO4 (CFG)
P0263 a P0270	Función Entrada DI1 a DI8 (CFG)
P0275 a P0279	Función de DO1 a DO5 (CFG)
P0295	Corriente Nomin. ND/HD Conv. (RO)
P0296	Tensión Nominal Red (CFG)
P0297	Frec. Conmutación (CFG)
P0298	Aplicación (CFG)
P0308	Dirección Serie (CFG)
P0310	Tasa Comunic. Serie (CFG)
P0311	Config. Bytes Serie (CFG)
P0312	Protocolo Serie (CFG)
P0314	Watchdog Serie (CFG)
P0316	Estado de la Interfaz Serie (RO)
P0682	Control Serie/USB (RO)
P0683	Ref. Vel. Serie/USB (RO)
P0348	Conf. Sobretemp.Motor (CFG)
P0349	Nivel para Alarma ixt (CFG)

Tabla 7 Tabla de parámetros II

P0351	Conf. Sobretemp. Motor (CFG)
P0398	Factor Servicio Motor (CFG)
P0399	Rendimiento Nom. Motor (CFG)
P0400	Tensión Nominal Motor (CFG)
P0401	Corriente Nom.Motor (CFG)
P0402	Rotación Nom.Motor (CFG)
P0403	Frecuencia Nom.Motor (CFG)
P0408	Ejecutar Autoajuste (CFG)
P0409	Resistencia Estator (CFG)
P0410	Corr. Magnetización (Vectorial)
P0411	Induct. Dispersión (CFG) y (Vectorial)
P0412	Constante Tr (Vectorial)
P0413	Constante Tm (Vectorial)
P0431	Numero de Polos (CFG)
P0433	Inductancia Lq (CFG)
P0434	Inductancia Ld (CFG)
P0435	Constante Ke (CFG)
P0683	Ref. Vel. Serie/USB (RO)
P0695	Valor para DOx (RO)
P0696 a P0699	Valor de 1 a 4 para AOx (RO)

Tabla 8 Tabla de parámetros III

2.3.2. Puesta en marcha.

Antes de la energización y puesta en marcha del convertidor de frecuencia, se deben realizar unas comprobaciones previas que garanticen su uso seguro.

- Verificación de conexionado de potencia del convertidor y del motor.
- Comprobar que no existe material excedente del convertidor.
- Cierre de todas las tapas del convertidor y motor.

Para la energización del convertidor de frecuencia será necesario cerrar el interruptor que realiza las funciones de protección, para comprobar que la se ha realizado de correctamente la alimentación, el LED del convertidor debe estar de color verde.

Para la realización de la puesta en marcha del variador de manera óptima se deben seguir los siguientes pasos: ajuste de contraseña para la modificación de parámetros, ejecución del *Start Up* orientado (por defecto se realizará en modo v/f) y ajuste de parámetros del grupo Aplicación Básica (tiempo de aceleración, tiempo de frenado, velocidad mínima, velocidad máxima, corriente máxima a la salida, etc.)

2.3.2.1 Ajuste de la contraseña

1. En el display del HMI, presionar *Menu*.
2. Seleccionar el grupo *00 Todos los parámetros*.
3. Seleccionar el parámetro P0000.
4. Establecer el P0000 en 5.
5. Salir y regresar al modo monitoreo.

2.3.2.2 *Start Up Orientado*

La rutina de *Start Up* Orientado presenta en la HMI los parámetros en una secuencia lógica, de modo que el ajuste de éstos, deja listo el convertidor de frecuencia para su uso. Para iniciar la rutina se debe ajustar el parámetro P0317=1 y posteriormente realizar el ajuste de los parámetros según aparecen en la HMI. Durante la rutina de *Start Up* estará indicado en la esquina superior izquierda el estado *Config*.

Para la realización de la rutina de *Start Up* se seguirán los siguientes pasos:

1. En el modo de monitoreo presionar *Menu*.
2. Seleccionar el grupo *02 Start Up Orientado*.
3. Seleccionar el parámetro P0317 (*Start Up*) y seleccionar *Sí*.
4. Ajustar el parámetro P0201: *español*.
5. Seleccionar el tipo de control P0202: *v/f 50 Hz*.
6. Seleccionar la tensión nominal de la red P0296.
7. Seleccionar modo de aplicación P0298: *ND (Normal Duty)*.
8. Ajustar el factor de servicio P0398.
9. Seleccionar tensión nominal del motor P0400.
10. Seleccionar corriente nominal del motor P0401.
11. Ajustar la velocidad nominal del motor P0402.
12. Ajustar la frecuencia nominal del motor P0403.
13. Seleccionar la potencia nominal P0404.
14. Para finalizar la rutina de ajuste se presiona *Reset*.

A partir de ahora ya se encuentra el convertidor disponible para trabajar con el motor en el modo v/f.

2.3.2.3 *Ajuste de los parámetros de la programación básica*

El convertidor posee una serie de parámetros que permiten su adaptación a cada una de las aplicaciones que se pueden realizar. Para facilitar esta tarea se encuentra la programación básica. A continuación se muestra como realizar dicha programación y se mencionan los parámetros más importantes:

1. En el modo de monitoreo presionar *Menu*.
2. Seleccionar el grupo *04 Aplicación Básica*.

A continuación se enumeran los parámetros más importantes dentro del grupo aplicación básica:

- P0100 Tiempo de aceleración: Define el tiempo para acelerar linealmente de 0 a la velocidad máxima.
- P0101 Tiempo de desaceleración: Define el tiempo para desacelerar linealmente de la velocidad máxima a 0.
- P0104 Rampa S: Permite que las rampas de aceleración y desaceleración tengan un perfil no lineal similar al de una S.
- P0121 Referencia de velocidad por el HMI.
- P0124 a P0131 Multispeed.
- P0133 y P0134 Velocidad máxima y mínima.

- P0135 Corriente máxima de salida: Evita el bloqueo del motor durante la sobrecarga de par la aceleración y desaceleración.

2.3.3. Control v/f.

2.3.3.1 Introducción teórica.

Este tipo de control se emplea cuando las especificaciones dinámicas son muy pequeñas, siendo el funcionamiento en régimen permanente el principal objetivo debido a que este tipo de control fija la amplitud del flujo del motor pero no posición instantánea. La velocidad del motor es controlada mediante el ajuste de la tensión y la frecuencia de salida y el par es controlado mediante el ajuste del deslizamiento.

Hay que tener en cuenta que cuando se realiza la regulación de velocidad es bueno que el flujo de la máquina se mantenga lo más elevado posible para obtener mayor valor de par a bajas corrientes, pero se debe conseguir que dicho flujo se mantenga por debajo del flujo nominal debido a que la corriente de magnetización aumentaría y las pérdidas en el hierro también. Por lo que se buscará variar la frecuencia manteniendo el flujo constante en su valor nominal como máximo. La relación existente entre el la tensión y flujo es la que se puede observar en la Ecuación1. [4]

$$E = 4.44 \cdot K \cdot N \cdot \psi \cdot f \quad (1)$$

Despreciando la caída de tensión en las bobinas del estator se puede aproximar que la tensión inducida es aproximadamente la tensión aplicada, de acuerdo con el equivalente eléctrico del motor de modo que se puede afirmar que:

$$\psi = \frac{E}{4.44 \cdot K \cdot N \cdot f} = f \left(\frac{E}{f} \right) \quad (2)$$

Por consiguiente, para mantener el flujo constante se debe mantener la relación v/f constante, debido a que si se disminuye el valor de la frecuencia por debajo de la nominal se producirá un aumento de la tensión, poniendo en peligro el aislamiento de la máquina.

Teniendo en cuenta la ecuación del par:

$$T = \frac{P_{mec}}{\Omega} = \frac{3 \cdot \left(\frac{R_s}{s} \right) \cdot I_r'^2 - 3 \cdot R'_r \cdot I_r'^2}{\Omega(1-s)} = \frac{3 \cdot R'_r \cdot i_r'^2}{\Omega \cdot s} \quad (3)$$

Y que el módulo de la corriente es:

$$I = \frac{E}{\sqrt{\left(\frac{R_r}{s} \right)^2 + X_r'^2}} \quad (4)$$

Sustituyendo (4) en (3) se obtiene la expresión del par:

$$T = \frac{3 \cdot R'_r \cdot E^2 \cdot s \cdot \left(\frac{P}{2} \right)}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot (R_r^2 + s^2 \cdot X_r'^2)} \quad (5)$$

Teniendo un deslizamiento máximo:

$$\frac{dT}{ds} = 0 \rightarrow s_{max} = \frac{R'r}{X'r} \quad (6)$$

Que es el que produce el valor de par máximo, que se calcula de acuerdo a la siguiente expresión:

$$T = \frac{3(P/2)}{8 \cdot \pi^2 \cdot L'r} \left(\frac{E}{f}\right)^2 = K \cdot \left(\frac{E}{f}\right)^2 \quad (7)$$

Si se expresa la ecuación del par en función de las frecuencias de red y del motor se obtiene que:

$$T = \frac{3(P/2) \cdot E^2 \cdot f_2}{2 \cdot \pi \cdot f_1^2} = K \cdot \left(\frac{E}{f}\right)^2 \cdot f_2 \quad (8)$$

Gráficamente se puede observar la evolución del par T en función de la velocidad tal y como se muestra en la Figura 12:

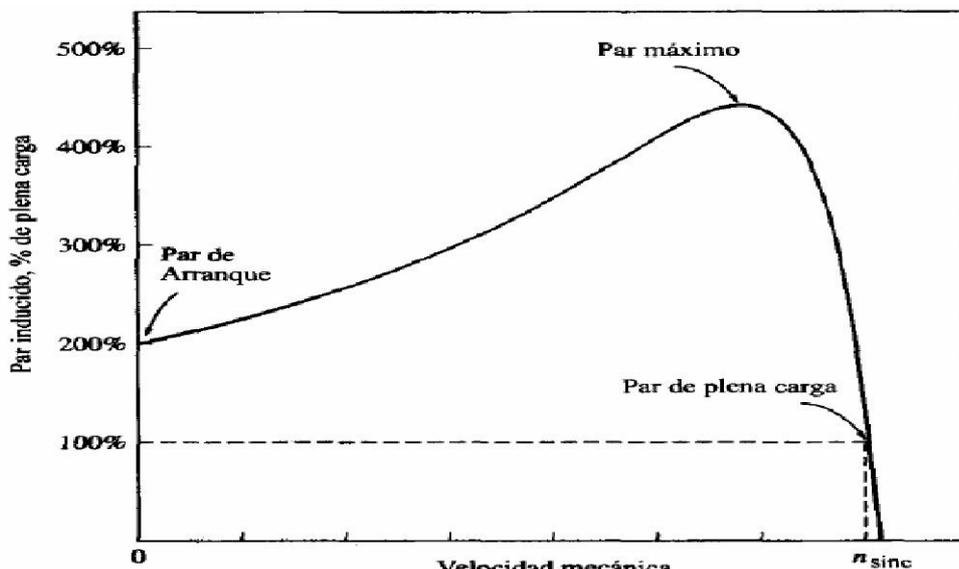


Figura 12 Curva par velocidad

Con lo que se puede deducir que la velocidad (frecuencia del rotor) será función del par de carga, la tensión y de la frecuencia de alimentación:

$$f_2 = \frac{T}{K \cdot \left(\frac{E}{f_1}\right)^2} \quad (9)$$

Si se mantiene la relación $\left(\frac{E}{f}\right)^2$, para el mismo par de carga la frecuencia en el rotor será la misma a cualquier velocidad. Se puede observar que al mismo par se pueden obtener distintas velocidades conservando el deslizamiento:

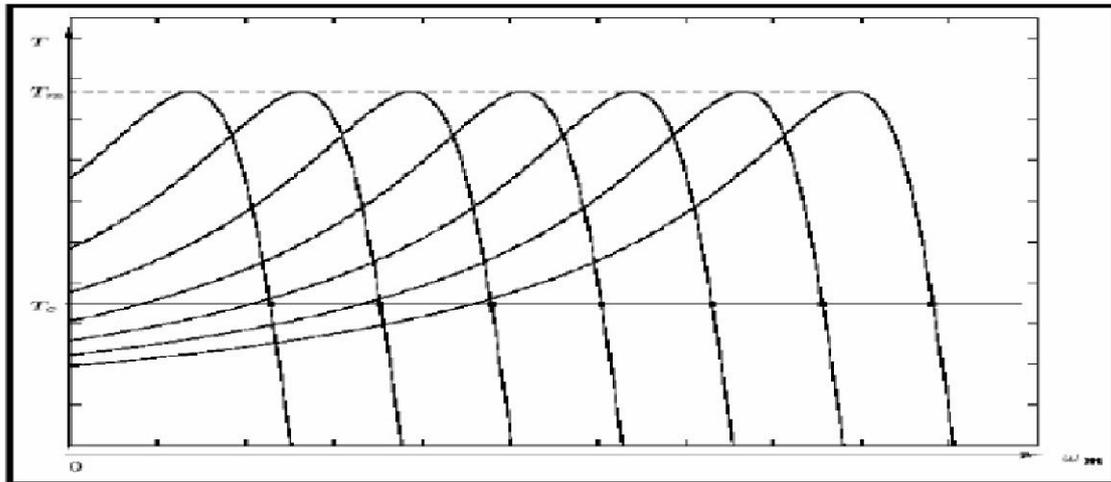


Figura 13 Curva par velocidad a par constante

La consecuencia que tendrá en el control de la máquina será que a bajas velocidades (frecuencias) se producirá un aumento de la tensión para compensar las pérdidas de flujo pero se mantendrá el par constante hasta alcanzar la velocidad nominal, a dicha velocidad se consigue trabajar con el flujo nominal, dicho flujo viene determinado por la tensión del convertidor (que será la nominal), por lo que se trabaja a la frecuencia nominal del motor.

2.3.3.2 Resultados gráficos.

En este apartado se muestran los resultados obtenidos tras realizar las pruebas de control tensión-frecuencia utilizando el convertidor de frecuencia. Para monitorizar los resultados obtenidos se ha empleado el software propio de WEG que se suministra junto con el variador *Super Drive G2*.

Se han realizado varias pruebas ajustando las correspondientes rampas de subida y de bajada con parámetros aleatorios y también utilizando los ajustes de arranque con rampa en S que es un modo de arranque en el que se aumenta la velocidad de una manera más suavizada adoptando dicha curva una forma parecida a la de una S.

En dichos ensayos se observa que nunca se sobrepasan los valores nominales de tensión y corriente pudiéndose comprobar que el control es realizado de manera satisfactoria.

No ha sido necesario configurar los parámetros referentes al bus de CC debido a que siempre se estaba trabajando dentro de parámetros nominales del convertidor.

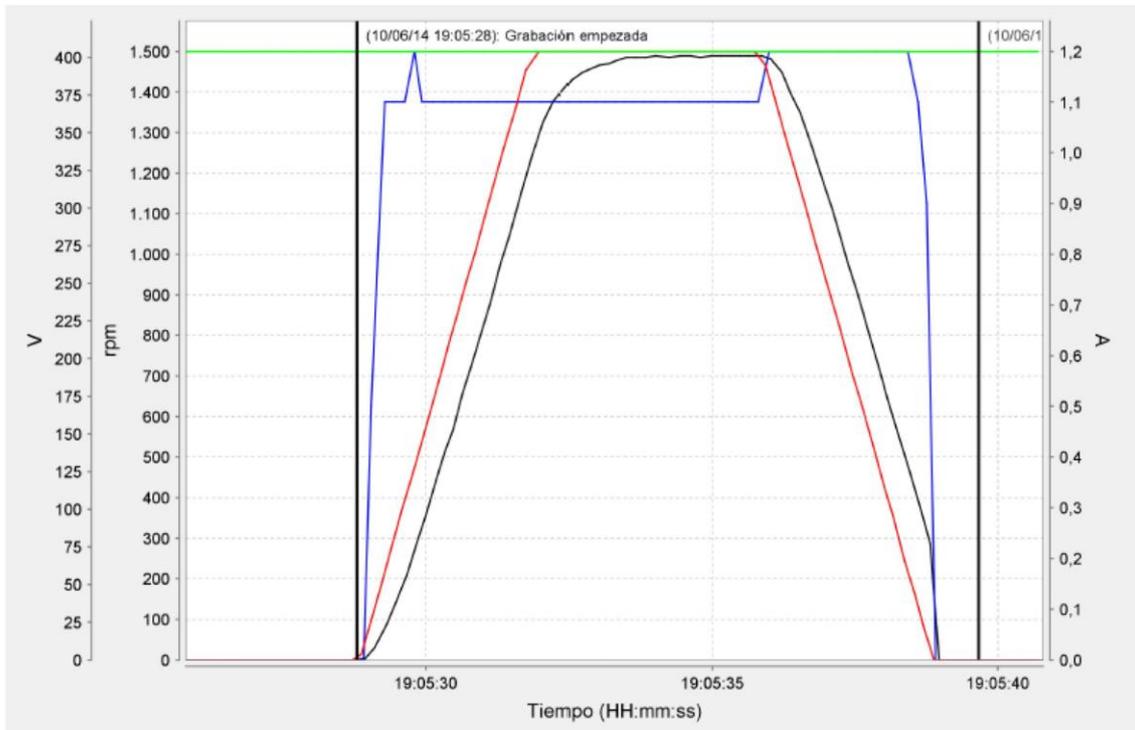


Figura 14 Control v/f rampa a 3s

En la Figura 14 se observa que se alcanza el valor de velocidad de referencia (color verde) en el tiempo establecido por la rampa de aceleración (velocidad real color rojo), y el valor de corriente (color azul) nunca supera la corriente magnetización del motor (1.19 A), además también se puede observar que la tensión (color negro) tiene un comportamiento proporcional a la velocidad del motor (aumenta hasta que se alcanza la velocidad consigna y se mantiene si la velocidad permanece constante) comprobándose que se está realizando el control V/f de manera óptima.

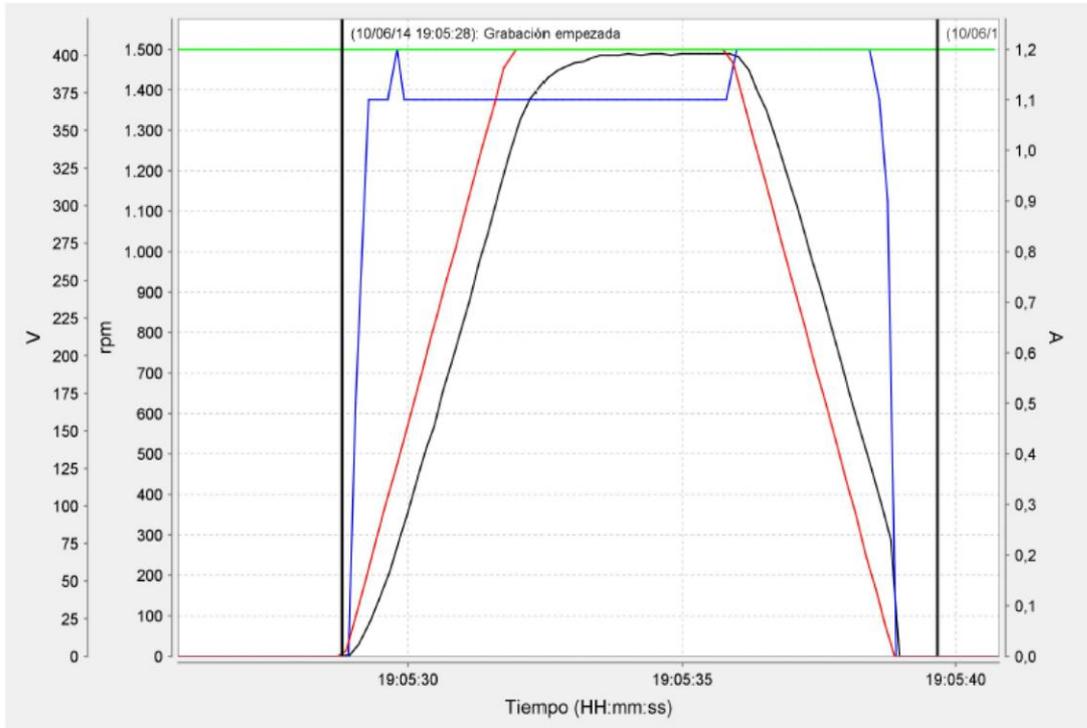


Figura 15 Control v/f rampa a 5s

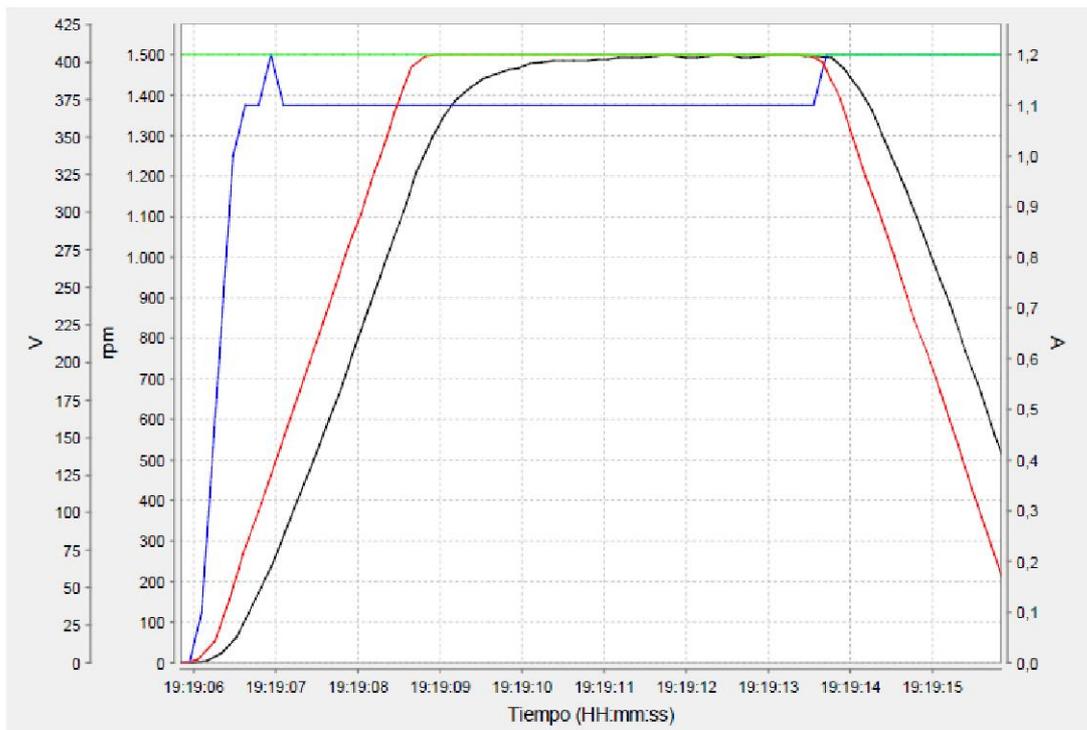


Figura 16 Control v/f rampa S (50%) 3s

En las Figuras 15 y 16 se puede observar como la curva de la tensión y de la velocidad son ligeramente más suaves pudiéndose apreciar la forma de S en la aceleración de la máquina.

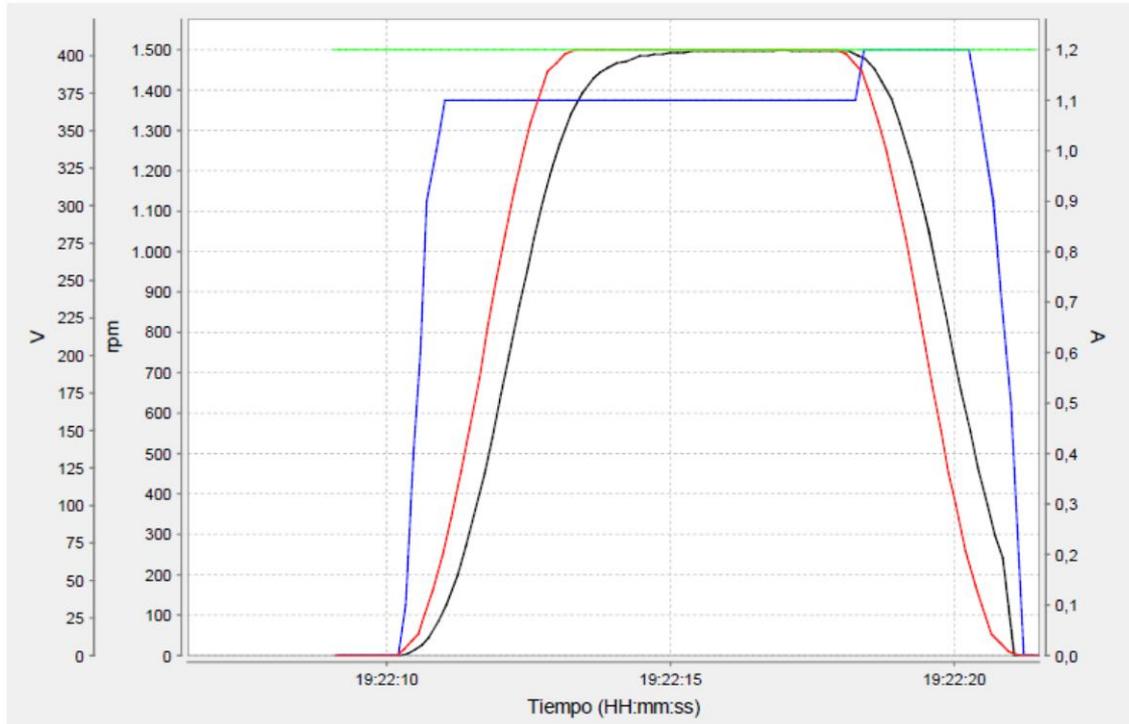


Figura 17 Control v/f rampa S (100%) 3s

En la Figura 17 se tiene una curva de la tensión con una curvatura más pronunciada tanto en la aceleración como en la frenada de motor, comprobándose que el control responde correctamente a los parámetros establecidos debido a que al ser más gradual el aumento de velocidad la tensión también aumentará de manera más suave debido a su proporcionalidad en el control v/f.

Se observa que el control se realiza de manera correcta para cualquiera de las consignas, se observa que el valor de la tensión aumenta siempre de manera proporcional a la frecuencia a la que gira el motor, es decir, a la velocidad real que se está tomando hasta que se alcanza el valor de consigna especificado, pero nunca sin sobrepasar el valor de tensión de alimentación de 400 V.

2.3.4. Control vectorial.

2.3.4.1 Introducción teórica.

El control vectorial está presente en todas las aplicaciones industriales en las que se trabaja tanto con motores de inducción, con motores síncronos o como es el caso del *Weg WQuattro* de motores híbridos.

Al disponer de un motor híbrido en el que se emplea la jaula de ardilla para el arranque del motor, se ha prestado especial atención al control vectorial para motores de inducción de campo orientado (FOC). Hay que mencionar que dentro del control

vectorial existen dos tipos control vectorial como *fente de tensión* y como *fente de corriente*. [4] [5]

- Control vectorial de la máquina de inducción alimentado por el convertidor como *Fuente de corriente*.

Las ecuaciones características del funcionamiento del motor de inducción son:

$$\vec{u}_s = R_s \cdot \vec{i}_s + L_s \cdot \frac{d\vec{i}_s}{dt} + L\mu \cdot \frac{d\vec{i}_r \cdot e^{j\varepsilon}}{dt} \quad (1)$$

$$\vec{u}_r = R_r \cdot \vec{i}_r + L_r \cdot \frac{d\vec{i}_r}{dt} + L\mu \cdot \frac{d\vec{i}_s \cdot e^{-j\varepsilon}}{dt} \Rightarrow \vec{u}_r = 0 \quad \text{rotor de jaula de ardilla} \quad (2)$$

$$Te = k \cdot L\mu \cdot \text{Im} \left\{ \vec{i}_s \cdot (\vec{i}_r \cdot e^{j\varepsilon})^* \right\} \quad (3)$$

$$Te - T_c = J \cdot \frac{d\Omega}{dt} \quad (4)$$

$$\Omega = \frac{w}{p} = \frac{1}{p} \cdot \frac{d\varepsilon}{dt} \quad (5)$$

Donde $L\mu$ es la inductancia mutua, ε es el ángulo que forma el eje fijo ligado al estator con el eje del rotor y T_c es el par de carga. k es función de la definición de fasor espacial escogido. (generalmente suele ser $2/3$ debido a que se trabaja en un sistema equilibrado trifásico y además coincide con el valor máximo de la onda pulsante con la que se esté trabajando, en este caso valor máximo de tensión)

Dichas ecuaciones nos permitirán construir un modelo dinámico del motor el que facilitará su posterior control.

Hay que tener en cuenta que para poder realizar el control vectorial del motor es necesario poder controlar el flujo que circula por el entrehierro del motor, para ello se realizará su transformación en una corriente ficticia i_{mr} que será la que simulará el comportamiento del mismo en el motor. Para ello basta con dividir la expresión del flujo rotórico (referido en coordenadas del estator) entre su inductancia mutua.

$$\vec{\Psi}_r^S = L\mu \cdot \vec{i}_s + L_r \cdot \vec{i}_r \cdot e^{j\varepsilon} \quad (6)$$

$$\vec{i}_{mr} = \frac{\vec{\Psi}_r^S}{L\mu} = \vec{i}_s + \frac{L_r}{L\mu} \cdot \vec{i}_r \cdot e^{j\varepsilon} \quad (7)$$

Una vez conocido el valor de i_{mr} se obtendrá la expresión del par que relacione ambas magnitudes y así facilite el control del mismo, para ello se empleará la ecuación del par en función de las corrientes del estator y del rotor y la ecuación que las liga con la corriente i_{mr} .

$$Te = k \cdot L\mu \cdot \text{Im} \left\{ \vec{i}_s \cdot (\vec{i}_r \cdot e^{j\varepsilon})^* \right\} \quad (8)$$

$$\vec{i}_r \cdot e^{j\varepsilon} = \frac{L\mu}{L_r} (\vec{i}_{mr} - \vec{i}_s)$$

(9)

$$Te = k \cdot \frac{L\mu^2}{Lr} \cdot \text{Im}\left\{\vec{i}_s \cdot \vec{i}_{mr}^*\right\} \quad (10)$$

Si se refiere expresa dicha ecuación en función de los vectores espaciales se podrá obtener la expresión del par ya en función de las corrientes de cuadratura.

Siendo:

$$\vec{i}_{mr} = i_{mr} \cdot e^{j\theta} \quad (11)$$

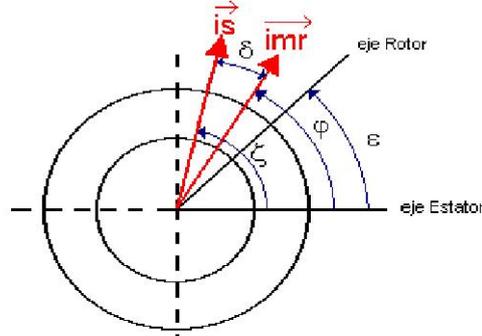


Figura 18 Fasores espaciales

Se obtiene:

$$Te = k \cdot \frac{L\mu^2}{Lr} \cdot \text{Im}\left\{\vec{i}_s \cdot \vec{i}_{mr}^*\right\} = k \cdot \frac{L\mu^2}{Lr} \cdot i_{mr} \cdot \text{Im}\left\{\vec{i}_s \cdot e^{-j\theta}\right\} \quad (12)$$

Operando se tiene la expresión del par:

$$\vec{i}_s \cdot e^{-j\theta} = i_s \cdot e^{j\varepsilon} \cdot e^{-j\theta} = i_s \cdot e^{j\delta} = i_s \cdot (\cos \delta + j \text{sen} \delta) = i_{sd} + j \cdot i_{sq} \quad (13)$$

$$Te = k \cdot \frac{L\mu^2}{Lr} \cdot i_{mr} \cdot \text{Im}\left\{\vec{i}_s \cdot e^{-j\theta}\right\} = k \cdot \frac{L\mu^2}{Lr} \cdot i_{mr} \cdot i_{sq} = K \cdot i_{mr} \cdot i_{sq} \quad (14)$$

Se puede concluir que manteniendo constante el flujo rotórico $K^* i_{mr}$ constante, se puede realizar el control de la componente i_{sq} de la corriente y por tanto el control del par del motor.

Al igual que con las ecuaciones del par y del flujo, también será necesario realizar transformaciones en las ecuaciones del rotor, para tener controlado el flujo circulante por el mismo y así tener control sobre sus variables

Al igual que en las transformaciones de las ecuaciones del par, interesa expresar la corriente i_r por una corriente ficticia i_{mr} de manera que así se pueda controlar el flujo de la máquina lo que nos permitirá controlar la velocidad del mismo.

$$0 = Rr \cdot \vec{i}_r + Lr \cdot \frac{d\vec{i}_r}{dt} + L\mu \cdot \frac{d\vec{i}_s \cdot e^{-j\varepsilon}}{dt} = Rr \cdot \vec{i}_r + \frac{Lr}{L\mu} \cdot L\mu \cdot \frac{d\vec{i}_r}{dt} + L\mu \cdot \frac{d\vec{i}_s \cdot e^{-j\varepsilon}}{dt} \quad (15)$$

$$0 = Rr \cdot \vec{i}_r + L\mu \cdot \frac{d}{dt} \left[\frac{Lr}{L\mu} \cdot \vec{i}_r + \vec{i}_s \cdot e^{-j\varepsilon} \right] \quad (16)$$

Y sabiendo que se cumple:

$$\vec{i}_{mr} = \vec{i}_s + \frac{Lr}{L\mu} \vec{i}_r \cdot e^{j\varepsilon} \quad (17)$$

Queda la siguiente expresión:

$$0 = Rr \cdot \vec{i}_r + L\mu \cdot \frac{d \cdot \vec{i}_{mr} \cdot e^{-j\varepsilon}}{dt} \quad (18)$$

Operando y simplificando teniendo en cuenta que la constante rotórica es $\tau_r = \frac{Lr}{Rr}$ se obtiene:

$$\tau_r \cdot \frac{d\vec{i}_{mr}}{dt} + (1 - jw \cdot \tau_r) \cdot \vec{i}_{mr} = \vec{i}_s \quad (19)$$

Que permite obtener el valor de la corriente del estator, aplicando la transformación en vectores espaciales se obtienen las expresiones de las corrientes de cuadratura del rotor.

$$\left(\tau_r \cdot \frac{d\vec{i}_{mr}}{dt} + (1 - jw \tau_r) \cdot \vec{i}_{mr} \right) \cdot e^{-j\theta} = \vec{i}_s \cdot e^{-j\theta} = isd + j \cdot isq \quad (20)$$

Separando parte real e imaginaria:

$$\text{Re} \rightarrow isd = \tau_r \cdot \frac{d\text{im}r}{dt} + \text{im}r \quad (21)$$

$$\text{Im} \rightarrow \frac{d\theta}{dt} = w + \frac{isq}{\tau_r \cdot \text{im}r} \quad (22)$$

Teniendo en régimen permanente:

$$isd = \text{im}r \quad (23)$$

$$\frac{d\theta}{dt} = w_{mr} = w + w_2 = w_1 \quad (24)$$

Siendo w_1 la velocidad del campo magnético del rotor en régimen permanente.

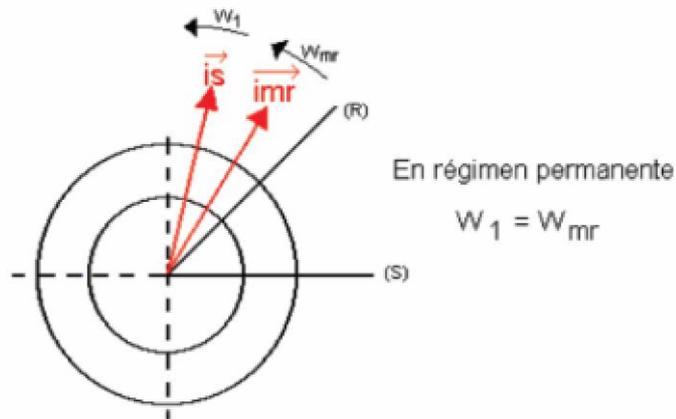


Figura 19 Fasores de corriente en sincronismo

De esta descomposición en ejes dq de la corriente del estator i_s se obtienen dos principales conclusiones sobre el control de la máquina:

- ✓ A partir de i_{sd} se puede controlar el flujo rotórico de la máquina a través de i_{mr} .

$$i_{sd} = f(i_{mr}) = \tau_r \cdot \frac{di_{mr}}{dt} + i_{mr} \quad (25)$$

- ✓ A partir de i_{sq} se consigue controlar el par si se mantiene el flujo rotórico constante.

$$T_e = K \cdot i_{mr} \cdot i_{sq} \quad (26)$$

De esta manera se consigue desacoplar los controles de flujo y par, con ello los esquemas de control serán más claros y simples. Tal y como se muestra en la Figura 20.

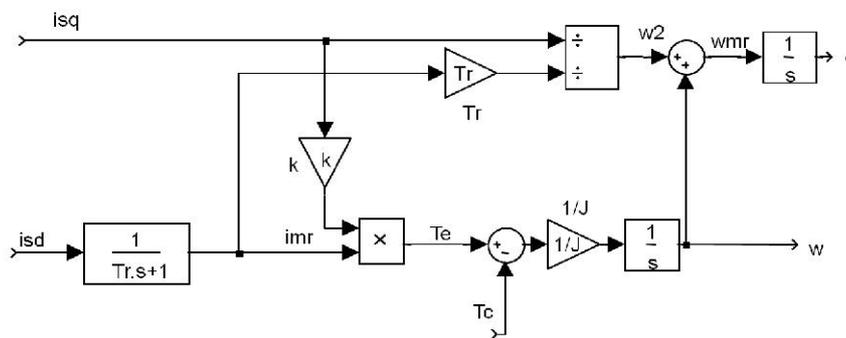


Figura 20 Diagrama de bloques máquina inducción

- Control vectorial de la máquina de inducción alimentado por el convertidor como *Fuente de Tensión*.

Se presta especial atención a este modo de control debido a que es el que más aproxima al funcionamiento que tendrá el convertidor de frecuencia en su modo de operación como control vectorial.

En este caso las señales de entrada y salida para el control son las tensiones U_{sd} y U_{sq} , pero el control del par se sigue realizando a través de la corriente i_{sq} .

En este tipo de control se busca relacionar la tensión del estator expresada en sus vectores espaciales en función de las corrientes i_{sd} e i_{sq} , es decir, a través del modelo de la máquina de inducción, se pueden obtener la expresión de dicha tensión en función del flujo circulante (a través de la corriente i_{mr}), los valores de resistencia del estator R_s , las inductancias L_s , L_r y L_μ y despreciando los términos desacoplados ya que son compensados mediante señales que realimentan a los lazos de corriente del control.

$$u_s^r = R_s \cdot i_s^r + L_s \frac{di_s^r}{dt} + L_\mu \frac{di_{mr}^r \cdot e^{j\epsilon}}{dt} \quad (27)$$

Sabiendo que:

$$i_r \cdot e^{j\epsilon} = \frac{i_{mr} - i_s}{\frac{L_r}{L_\mu}} \quad \tau_s = \frac{L_s}{R_s} \quad (28) \text{ y } (29)$$

Se obtiene el valor de u_r

$$\frac{u_s^r}{R_s} = i_s + \tau_s \cdot \sigma \cdot \frac{di_s}{dt} + T_s \cdot (1 - \sigma) \cdot \frac{di_{mr}}{dt} \quad (30)$$

$$\sigma = 1 - \frac{L_\mu^2}{L_s \cdot R_s} \quad (31)$$

Aplicando la transformación en coordenadas espaciales:

$$e^{j\theta} \cdot \frac{u_s}{R_s} = e^{j\theta} \left(i_s + \tau_s \cdot \sigma \cdot \frac{di_s}{dt} + T_s \cdot (1 - \sigma) \cdot \frac{di_{mr}}{dt} \right) = \frac{u_{sd} + j \cdot u_{sq}}{R_s} \quad (32)$$

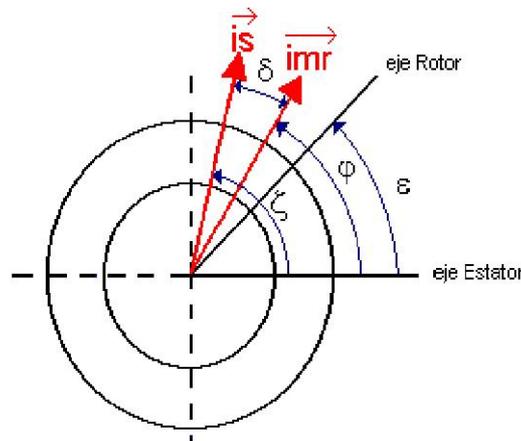


Figura 21 Fasores de corrientes estatóricas

Separando las componentes reales e imaginarias:

$$\text{Término real} \quad \tau_s \cdot \sigma \cdot \frac{di_{sd}}{dt} + i_{sd} = \frac{u_{sd}}{R_s} + t.c.d \quad (33)$$

$$\text{Término imaginario} \quad \tau_s \cdot \sigma \cdot \frac{di_{sq}}{dt} + i_{sq} = \frac{u_{sq}}{R_s} + t.c.d \quad (34)$$

Representándolo en el correspondiente en la Figura 22:

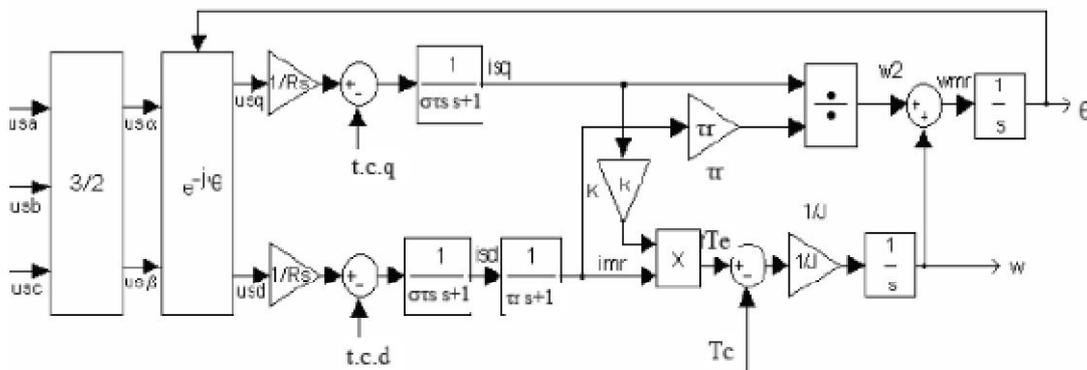


Figura 22 Modelo como fuente de tensión

Para realizar el control de la velocidad, por tanto será necesario tener las consignas de u_{sd} y u_{sq} , para que se generen las correspondientes i_{sd} e i_{sq} necesarias para alcanzar la velocidad de consigna. Por tanto para eliminar los términos desacoplados (t.c.d) será necesaria la introducción de los reguladores que minimicen dicho efecto. Por lo tanto el diagrama de bloques queda como se muestra en la Figura 23.

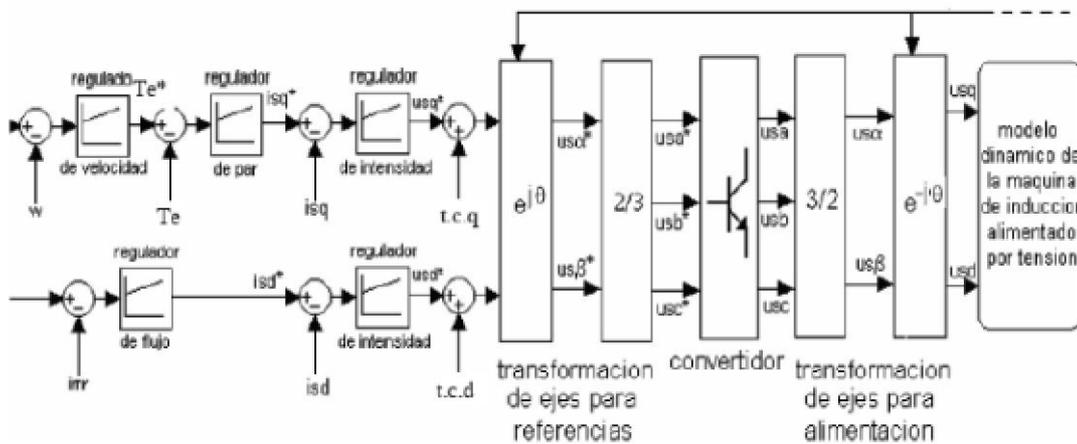


Figura 23 Control vectorial directo de tensión

- Control vectorial realizado por el convertidor de frecuencia CFW11

El convertidor de frecuencia realiza el control basado en las tensiones U_{sd} y U_{sq} obtenidas a partir del regulador PI del lazo de corriente tal y como se muestra en las Figuras 24 y 25.

Como dichas corrientes giran a la velocidad de sincronismo, cuando se observan desde un eje de referencia estacionario, se realizan una serie de transformaciones referenciadas al eje síncrono. En dicho eje se transforman en valores de cc proporcionales a la amplitud de dichos valores, simplificándose así el circuito de control.

Cuando la componente id se encuentra alineado con el flujo del motor, se puede decir que el control vectorial está orientado, y para ello es necesario que los parámetros del motor se encuentren correctamente ajustados, dicho ajuste se pueden realizar ejecutando la rutina autoajuste o bien por la hoja de características del fabricante.

Para el modo de control sensorless (en ausencia de encoder), tanto la medida de la velocidad como las medidas de las corrientes serán realizadas por el convertidor y así obtener la correcta orientación de los vectores. En el caso del control vectorial con encoder, la velocidad se toma directamente del encoder.

El control vectorial mide las corrientes, separa las componentes directa y de cuadratura, y transforma estas variables para el referencial síncrono. El control se realiza tomando las corrientes consigna y comparándolas con las variables reales.

Se recomienda que la corriente nominal del motor sea $1/3$ mayor que la corriente nominal del convertidor de frecuencia.

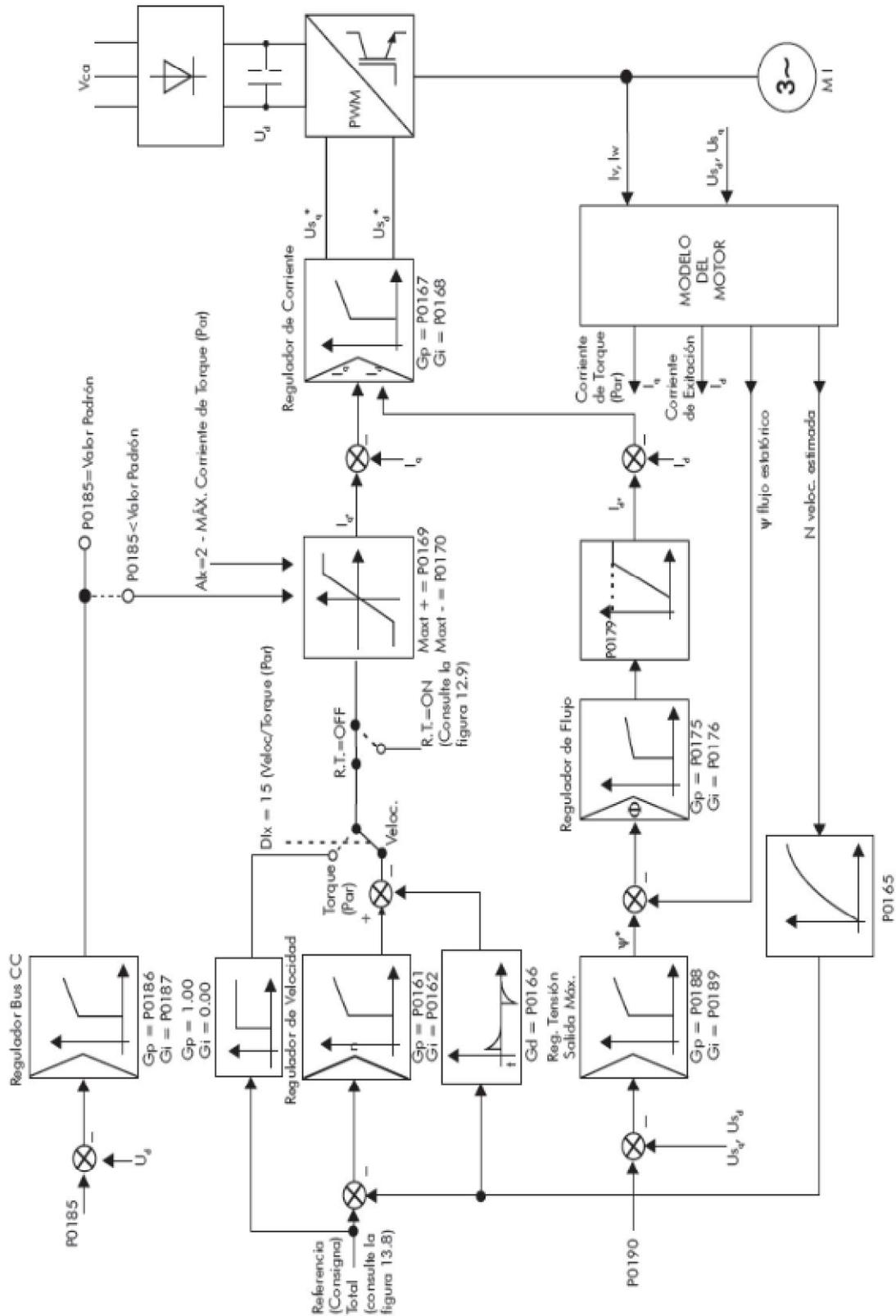


Figura 24 Diagrama de bloques del control vectorial sensorless

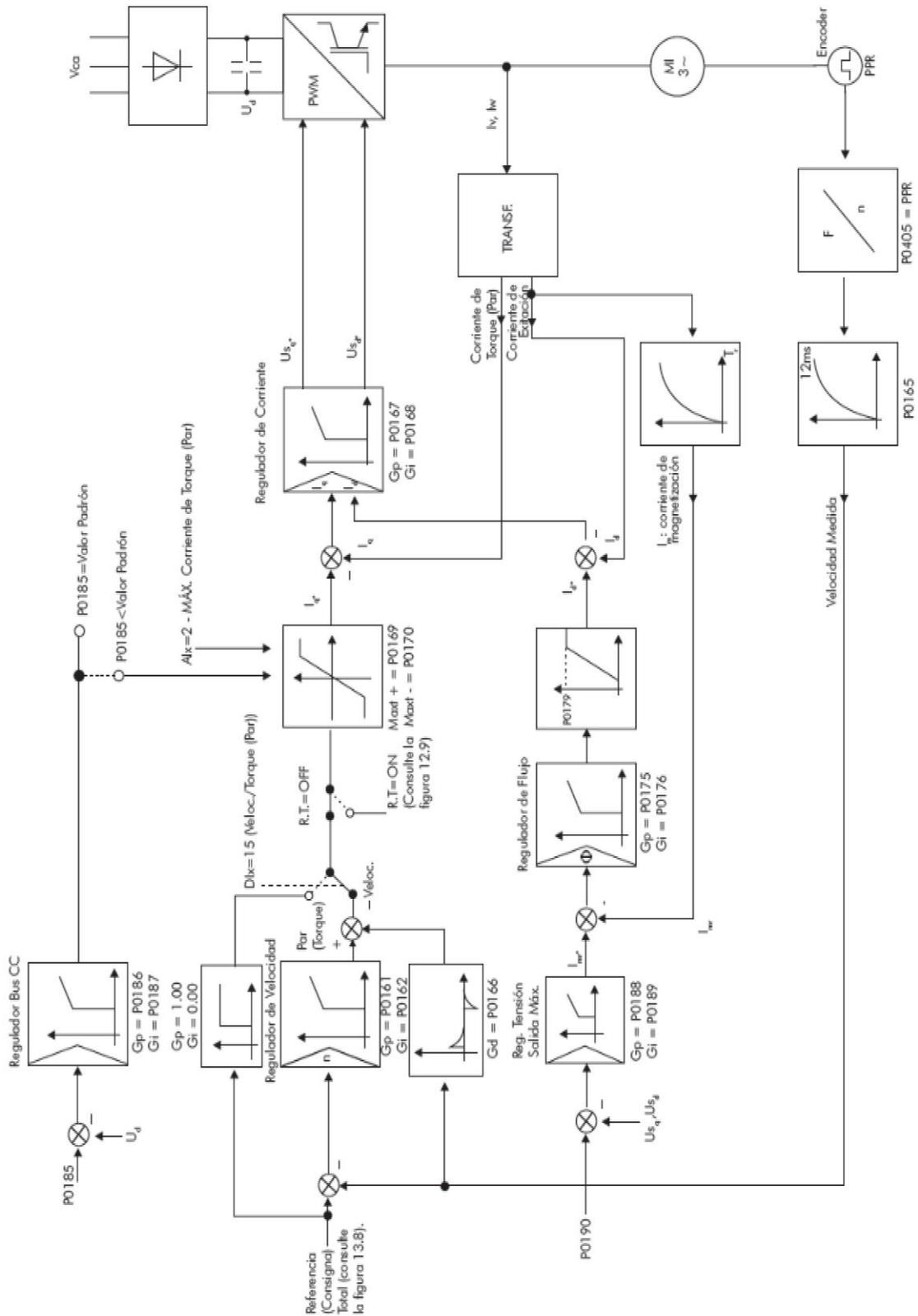


Figura 25 Diagrama de bloques control vectorial con encoder

2.3.4.2 Resultados gráficos.

En este apartado se muestran los resultados obtenidos tras realizar las pruebas de control vectorial utilizando el convertidor de frecuencia. Para monitorizar los resultados obtenidos se ha empleado también el software propio de WEG que se suministra junto con el variador *Super Drive G2*.

Se han realizado varias pruebas ajustando las correspondientes rampas de subida y de bajada

No ha sido necesario configurar los parámetros referentes al bus de CC debido a que siempre se estaba trabajando dentro de parámetros nominales del convertidor de frecuencia.



Figura 26 Control vectorial 1500 rpm

En la Figura 26 se tiene como velocidad de consigna (color verde) 1500 rpm y se ha dejado por defecto una rampa de ascenso y descenso de 5s, En este caso se produce el ajuste de la corriente (color azul) de manera muy rápida, no pudiéndose observar el transitorio de la máquina correctamente debido a la resolución que puede mostrar el software de *Weg SuperDrive G2* (Periodo de muestreo de 200ms). Una vez obtenida la velocidad nominal se produce un ligero descenso de la corriente hasta el valor de 1A.

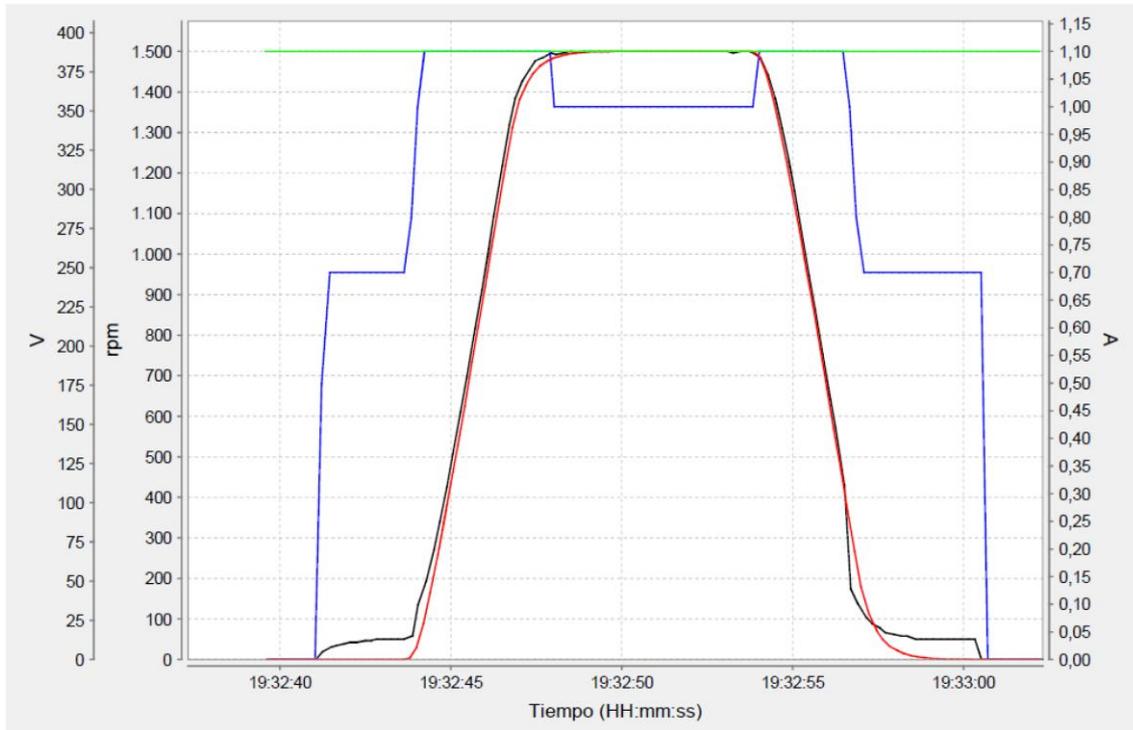


Figura 27 Control vectorial 3s 1500 rpm

En este caso, como se observa en la Figura 27 se ha reducido el tiempo de aceleración de la máquina a 3s, el ajuste de la corriente (color azul) no se observa de manera detallada debido al periodo de muestreo (200ms), en los instantes iniciales, aunque no se ha iniciado el arranque del motor, se han activado los IGBT's por lo que ya se puede observar evolución de la tensión de alimentación (color negro), en el momento que se arranca el motor se observa como el valor de corriente aumenta según sea el valor de velocidad del motor (color rojo) para posteriormente generar el valor de tensión necesario para obtener dicho valor de velocidad, debido al ajuste automático de los reguladores, la curva de tensión y de velocidad tienen una forma muy similar, lo que indica que el control realizado es muy bueno.

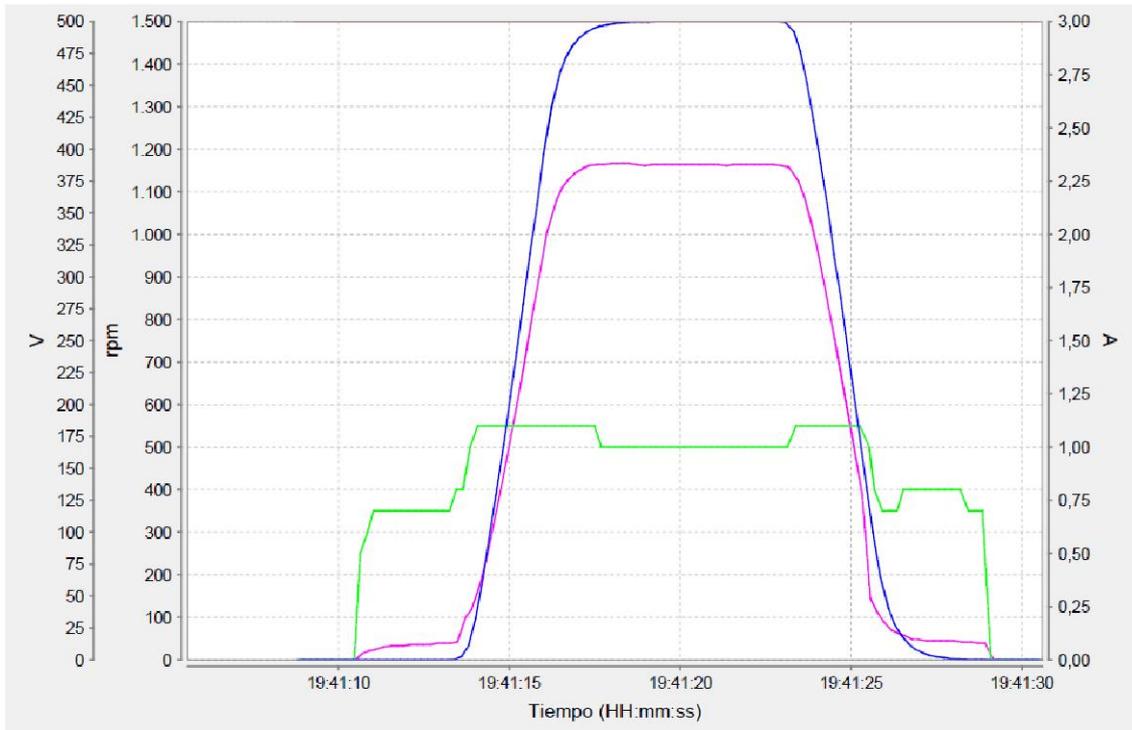


Figura 28 Control vectorial 3s Rampa S (50%)

En la Figura 28 se observa cómo se modifica la curva de aceleración de velocidad debido a que su aceleración es el único parámetro alterado, aunque la demanda de corriente y los correspondientes valores de tensión necesarios para obtener la velocidad en cada instante apenas sufren cambios.

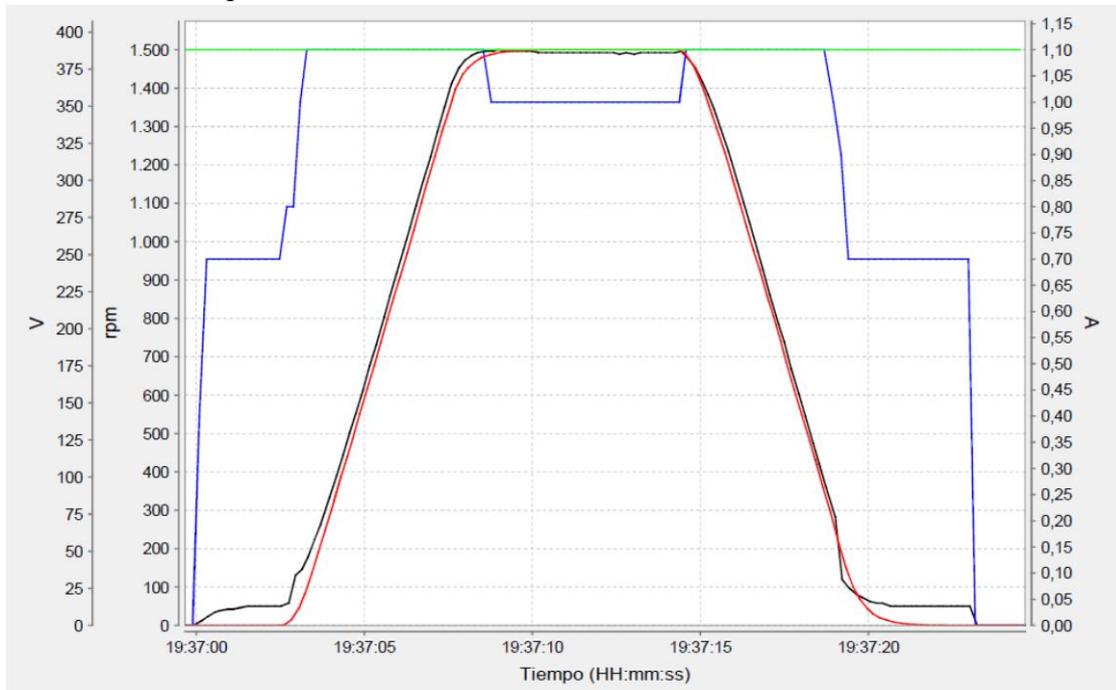


Figura 29 Control vectorial 5s 1500 rpm

Como conclusión se puede observar que el control vectorial realizado por el convertidor, debido al ajuste de los reguladores tanto de velocidad como de corriente se realiza de tal manera que apenas se aprecian los transitorios, además se puede observar que una vez alcanzada la velocidad de consigna (en cualquiera de los casos), el valor de corriente desciende ligeramente a un valor el cual se puede mantener dicha velocidad, y se vuelve a producir el control del lazo de corriente en cuanto se produzcan diferentes consignas de velocidad o se tenga una velocidad de referencia distinta. Además como los parámetros del motor obtenidos por medio del autoajuste son muy precisos los valores de tensión (*usd* y *usq*) que genera el control son valores muy cercanos a los ideales necesarios para obtener la velocidad de consigna deseada.

2.4. Entradas y salidas analógicas y digitales.

Dentro del diseño del sistema de monitorización las entradas y salidas tanto analógicas como digitales son uno de los aspectos más importantes ya que comunican directamente al convertidor de frecuencia con la tarjeta de adquisición de datos. Dichas entradas y salidas serán las encargadas de transmitir tanto las órdenes de consigna como las de estado del motor y el convertidor.

2.4.1. Entradas y salidas analógicas.

Entradas analógicas

Se disponen de 2 entradas analógicas (AI1 y AI2) más dos entradas opcionales (AI3 y AI4) si se dispone del módulo *IOA-01* (accesorio con entradas analógicas suministrado por WEG).

Las funciones que se pueden desempeñar mediante las entradas analógicas serán las de modificación de la velocidad de consigna del motor (valor 0 del parámetro 0246) y la de ajuste de máxima corriente de par (valor 2 del parámetro 0246), además se puede seleccionar de qué manera se van a introducir al convertidor, es decir, si se realiza enviando señales de tensión o señales de corrientes (modificando los parámetros P0233, P0243, P0238 y P0248 para modificar las señales desde la AI1 a la AI4 respectivamente). El rango de posibles valores es el que se muestra en la Tabla9

Rango de valores	Señal de entrada
0	0 a 10 V a 20mA
1	4 a 20 mA
2	10 V a 20 mA
3	20mA a 4 mA
4	-10 Va +10 V

Tabla 9 Valores para las entradas analógicas

Para la lectura de parámetros por parte de las entradas analógicas se pueden modificar una serie de parámetros para adecuar el valor de las señales de entrada con los valores que se deben ajustar para obtener las consignas deseadas. Estos parámetros son Valor de AIx (parámetro de lectura que indica el valor de las entradas de manera porcentual del fondo de escala), Ganancia de entrada AIx (valor constante de multiplicación), Filtro de entrada AIx (filtro RC para el filtrado de señales de entrada) y Offset de la entrada AIx. El algoritmo que se emplea para la lectura de señales corresponde con el que se muestra en la Figura 30. [1]

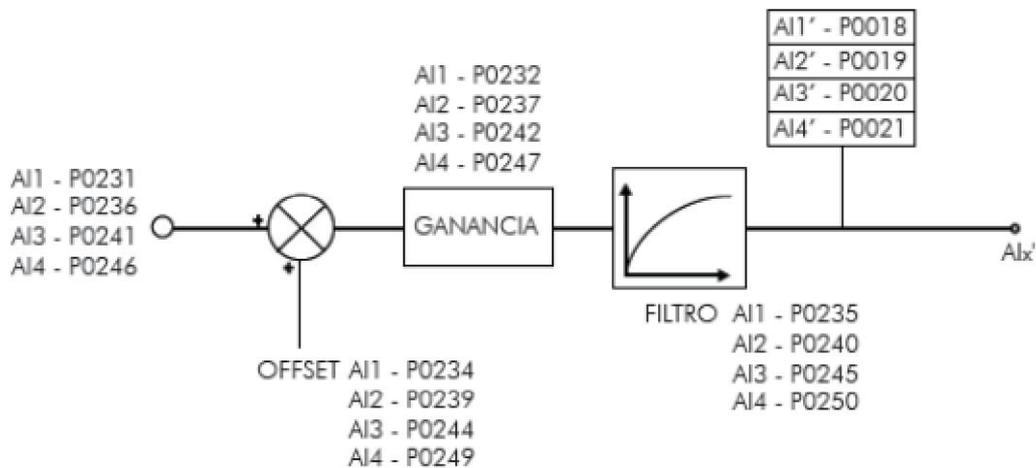


Figura 30 Diagrama de bloques de las entradas analógicas

El valor de la variable AIx se puede calcular de acuerdo con la siguiente expresión:

$$AIx' = \left(AIx + \frac{offset}{100} \times 10 V \right) \times Ganancia$$

Salidas analógicas

Se disponen de 2 salidas analógicas (AO1 y AO2) más dos entradas opcionales (AO3 y AO4) si se dispone del módulo *IOA-01* (accesorio con salidas analógicas suministrado por WEG).

Las funciones con las que se pueden trabajar a través de las salidas analógicas son las que se enumeran a continuación (a través de los parámetros P0251, P0254, P0257, P0260 para las AO1 a AO4 respectivamente), dichas funciones se emplean el sistema como parámetros de monitorización. El rango de posibles valores es el que se muestra en la Tabla10

Rango de valores	Función
0	Referencia de velocidad
2	Velocidad real
5	Corriente de salida
8	Potencia de salida
18	Contenido libre**
19	Contenido libre**
20	Contenido libre**
21	Contenido libre**

Tabla 10 Funciones de las salidas analógicas

Al igual que ocurre con las entradas analógicas se pueden ajustar los parámetros de ganancia de las salidas analógicas para obtener señales que se ajusten a las características deseadas. La obtención de las señales de salidas se puede ajustar como se muestra en la Figura31.

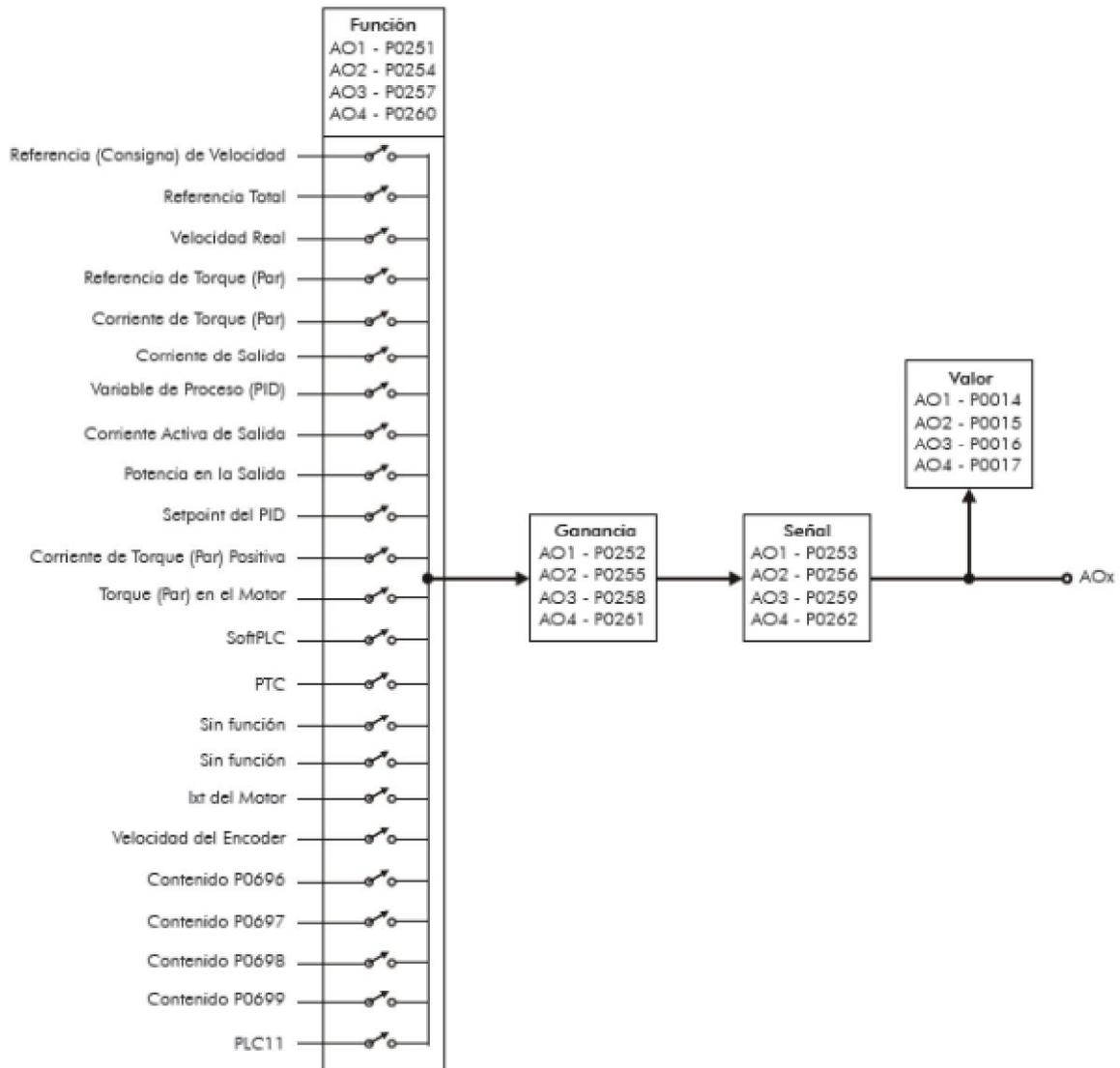


Figura 31 Diagrama de bloques salidas analógicas

También se puede seleccionar si se desea obtener a la salida una señal de corriente o una señal de tensión.

Rango de valores	Señal de salida
0	0 a 10 V a 20mA
1	4 a 20 mA
2	10 V a 20 mA
3	20mA a 4 mA

Tabla 11 Valores de las salidas analógicas

2.4.2. Entradas y salidas digitales.

Entradas digitales

Se disponen de seis entradas digitales (desde DI1 aDI6) más dos adicionales (DI7 y DI8) si se dispone de la tarjeta *IOA-OI*. El rango de funcionamiento de las entradas digitales corresponde a 0 V (estado inactivo) y 24 V (para el estado activo).

A través de los estados de las entradas digitales DI1 a DI8, es posible visualizar el estado de las correspondientes entradas, mostrándose el 1 para el estado “Activo” y 0 para el estado” Inactivo”.

Las funciones que se pueden realizar a través de las entradas digitales ofrecen mayor variedad que las analógicas empleándose algunas de ellas en tareas de control del motor de manera directa. En la Tabla 12 se enumeran las funciones posibles a realizar.

Función	Valor de la DIx
Gira/Para	1
Habilita General	2
Start	6
Stop	7
Multispeed	13
Velocidad/Par	15
*Sin Alarma Ext.	18
*Sin Falla Ext.	19

Tabla 12 Funciones entradas digitales

* En este caso la señal de alarma es introducida de manera externa, en el caso de que el usuario detecte una anomalía en el funcionamiento externo.

Salidas digitales

Se disponen de tres salidas digitales (desde DO1 aDO3) más dos adicionales (DO4 y DO5) si se dispone de la tarjeta *IOA-OI*. El rango de funcionamiento de las salidas al igual que las entradas digitales corresponde a 0 V (estado inactivo) y 24 V (para el estado activo).

A través de los estados de las entradas digitales DO1 a DO3, es posible visualizar el estado de las correspondientes entradas, mostrándose el 1 para el estado “Activo” y 0 para el estado” Inactivo”.

Al tener limitado el número de salidas digitales sólo se seleccionarán las que sean más útiles a la hora del diseño del sistema, en la Tabla 13 se muestran el rango de funciones que se pueden realizar a través de ellas.

Función	Valor de la DOx
Run	11
Ready	12
Remoto	10
Sin Falla	13
Sin F070	14
Sin F071	15
Sin F=72	18
Sin F006/F021/F022	16
Con Falla	26
Sin Falla	34
Sin Falla y Sin Alarma	35

Tabla 13 Función salidas digitales

Siendo los parámetros anteriormente expuestos:

Run: Convertidor se encuentra habilitado, el motor se encuentra girando a cualquier velocidad.

Ready: Convertidor sin falla y sin subtensión.

Sin F070: No hay falla por sobrecorriente o cortocircuito.

Sin F006/F021/F022: No hay fallas por fallo en la fase de la red, Subtensión del bus de CC o Sobretensión del bus de CC respectivamente.

Sin Falla: Convertidor no deshabilitado por cualquier tipo de falla.

Sin F071: Convertidor deshabilitado por sobrecorriente a la salida.

Sin F072: Convertidor no deshabilitado por sobrecarga del motor.

Con Falla: Convertidor deshabilitado por cualquier tipo de falla.

Sin Falla y Sin Alarma: Convertidor no deshabilitado por cualquier tipo de falla y no está en condición de alarma.

Capítulo 3 Circuito de maniobra para las entradas y salidas digitales.

El circuito de maniobra para las E/S digitales es necesario para poder adecuar los niveles de tensión que emplean la tarjeta de adquisición de datos *NI 6009* y el convertidor de frecuencia *CFW-11* para que las órdenes ejecutadas mediante el sistema de monitorización puedan ser recibidas y ejecutadas de manera satisfactoria. En la tarjeta *NI 6009* las tensiones de funcionamiento tanto para las entradas como para las salidas es de 0V y 5V, mientras que el *CFW-11* maneja valores de 24V (admitiendo 18V como valor mínimo para el nivel alto).

Entradas Digitales

Para el caso de las entradas digitales se ha optado por realizar dicho acondicionamiento de tensiones empleando circuitos integrados que actuarán directamente en el convertidor enviando las señales de tensión a sus correspondientes entradas. El modo de funcionamiento consiste en que se da la orden mediante la tarjeta *NI 6609* al integrado a través de una de sus entradas y a través de la salida seleccionada se emite la señal de apertura y cierre de la entrada correspondiente a los 24V correspondientes. Para ello se ha empleado:

- Convertidor DC/DC. Se ha empleado un convertidor de tensión reductor (como el mostrado en la Figura 32) 24V a 5V que servirá para alimentar a los circuitos integrados (tensión Vcc), aprovechando la fuente de 24V suministrada por el convertidor de frecuencia. Se ha empleado el modelo *TME2405* de *Traco Power* cuyas características se observan en la Tabla 14. [6]



Figura 32 Convertidor DC/DC TME2405

	Tensión de entrada	Tensión de salida	Corrient máxima de salida	Eficiencia
<i>TME2405S</i>	24±10%Vdc	5Vdc	200mA	70%

Tabla 14 Características convertidor DC/DC

- Circuito integrado *Voltage Shifter*. Se ha empleado el circuito integrado mostrado en la Figuras 33,34 y 35 cuya función será ejecutar las órdenes de activación y desactivación de las entradas digitales (en este caso se emplea la lógica TTL). El circuito integrado empleado ha sido el *CD4504B* de Texas Instruments y cuyas características se muestran en la Tabla 15. [7]



Figura 33. Circuito integrado CD4504B

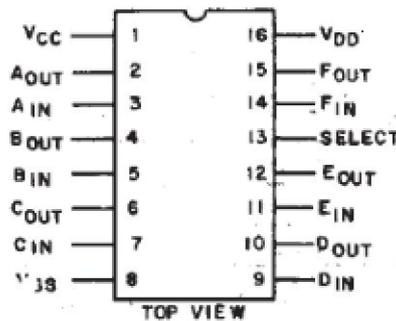


Figura34 Pines del Circuito integrado CD4504B

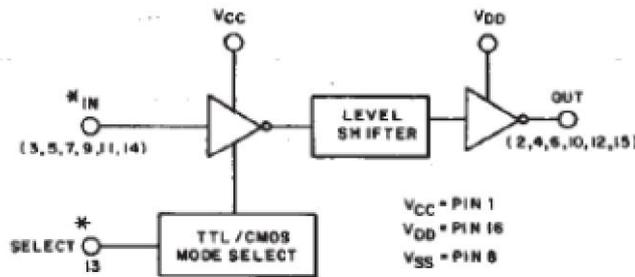


Figura35 Esquema de funcionamiento del circuito integrado

	Tensión Vdd	Tensión Vcc	Corriente de entrada	Potencia disipada
<i>CD4504 B</i>	De 0.5V a20V	De 0.5V a Vcc+0.5V	10mA	500mW

Tabla 15 Características Circuito Integrado

Salidas Digitales

La maniobra de las salidas digitales se ha realizado empleando los relees internos que de los que dispone el convertidor *CFW-11* y cablearlos directamente a las entradas digitales de la tarjeta y uniendo los comunes de cada salida digital con la tierra de la tarjeta de adquisición *NI 6009*. De modo directamente se transmite el estado del convertidor al sistema de monitorización.

Quedando el circuito de maniobra de las E/S Digitales como se muestra en la Figura31.

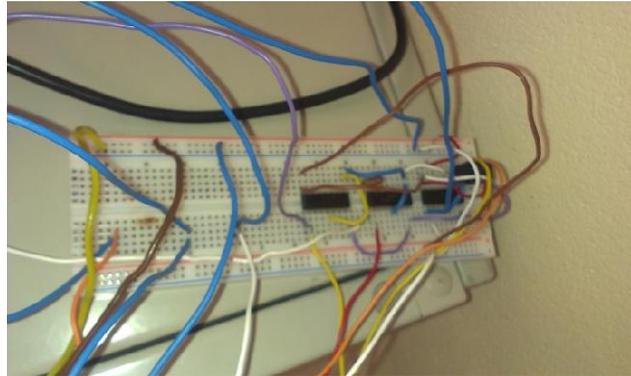


Figura 36. Circuito maniobra E/S Digitales

CAPÍTULO 4 Labview

4.1. Software Labview.

Se ha empleado el entorno *Labview 2010* para la realización del sistema de monitorización.

Labview es una herramienta diseñada especialmente para monitorizar, controlar, automatizar y realizar cálculos complejos de señales tanto analógicas como digitales capturadas a través de tarjetas de adquisición de datos, puertos serie, etc.

Se trata de un lenguaje de programación de propósito general pero con la principal característica de que es totalmente gráfico, facilitando la comprensión y manejo del lenguaje para el diseñador de este tipo de aplicaciones tipo SCADA.

Está basado en la programación modular, parecida a la empleada por *Simulink*, lo que permite crear tareas complicadas a partir de módulos o sub-módulos más sencillos. Además dichos módulos pueden ser empleados en otras tareas, lo que ofrece una programación más rápida y útil. Estos módulos reciben el nombre de *Virtual Instruments; VI's*.

De modo general se puede afirmar que para cualquier *VI* existen dos principales zonas de trabajo: el *Panel Frontal* y el *Diagrama de Bloques*.

El *Panel Frontal* mostrado en la Figura 37 es la pantalla que el usuario del sistema estará viendo cuando esté controlando o monitorizando el sistema, es decir, es el interfaz del usuario. Posee gran variedad de controles e indicadores, pero además ofrece la posibilidad de diseñar controles e indicadores personalizados.

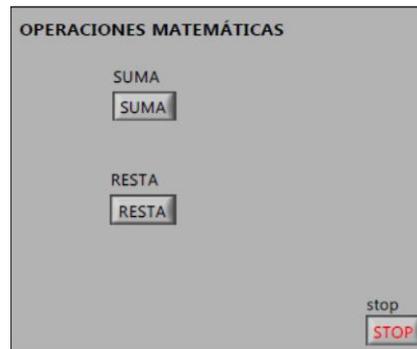


Figura37 Vista Panel Frontal

El *Diagrama de Bloques* del VI mostrado en la Figura 38 es la pantalla no visible del usuario. En ella residen todos los controles e indicadores interconectados, teniendo un aspecto similar al que pueda tener un diagrama eléctrico. En él se encuentra gran parte de la programación de la aplicación y para el usuario sería mucho más difícil manejarla y entenderla.

Todos los módulos se encuentran unidos por medio de líneas de conexión, por las cuales circulan los datos del VI.

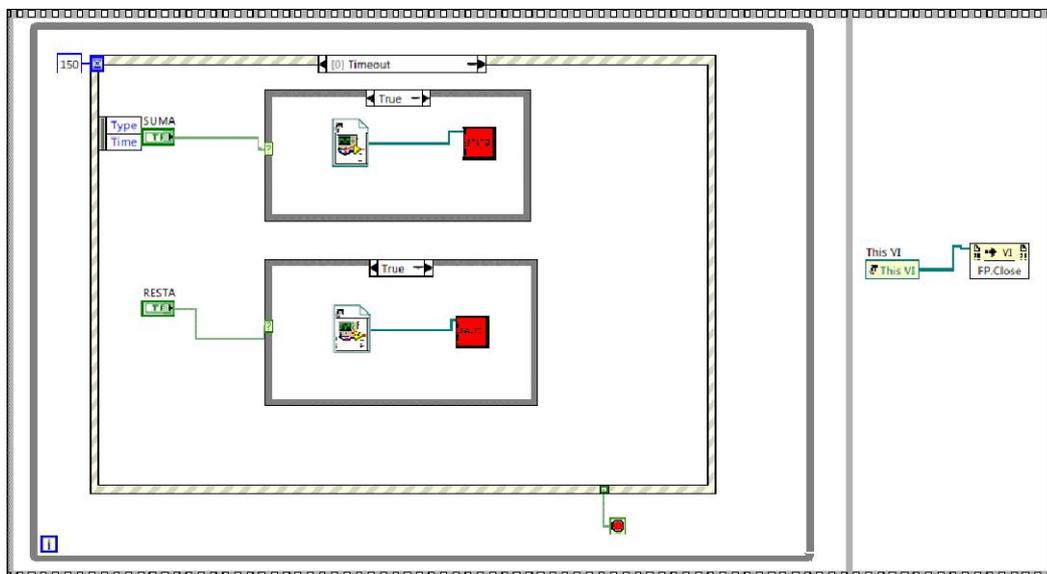


Figura38 Vista Diagrama de Bloques

Labview dispone de una gran variedad de datos con los que se puede trabajar respondiendo a las necesidades reales que sean necesarias. Uno de los aspectos más importantes de *Labview* es la diferenciación que realiza en el diagrama de bloques entre los diferentes tipos de controles e indicadores, esta diferenciación la realiza mediante colores (cada uno dispone de un color propio). Siendo muy fácil identificarlos y reconocer inmediatamente con qué tipo de datos se está trabajando. [9]

4.1.1 Indicadores.

En el sistema de monitorización se han empleado algunos de los siguientes controles e indicadores:[9]

- Boolean . Son enteros de 16 bits. El bit más significativo contiene el valor Booleano. Si el bit 15 se pone al 1, entonces el valor del control o indicador es “True”, por el contrario si ese valor es 0, el valor de la variable booleana será “False”.
- Double . Números en coma flotante de doble precisión. Valor por defecto de *Labview*.
- Single . Números en coma flotante de precisión simple.
- Long integer . Números enteros con formato de 32 bits, con o sin signo.
- Word integer . Tiene formato de 16 bits, con o sin signo.
- Byte integer . Tiene formato de 8 bits con o sin signo.
- Arrays . *Labview* almacena el tamaño de cada dimensión de un array como un entero largo seguido de los datos.
- Strings . *Labview* almacena los strings como si fueran arrays unidimensionales de bytes enteros.

4.1.2 Estructuras.

Para la programación de secuencias de ejecución y ejecución de los *VI* se han empleado bloques de estructuras que tienen un funcionamiento similar al de cualquier otro nodo en el diagrama de bloques, ejecutando las instrucciones que se encuentren en su interior (debe poseer datos de entrada y para poder proporcionar datos de salida). Las principales estructuras que se han empleado han sido:

- *Case Structure*

Tal y como se muestra en la Figura 39, esta estructura presenta dos posibles modos de ejecución *True* o *False* dependiendo del valor del controlador booleano que tenga a la entrada de la estructura, nunca pudiéndose ejecutar el contenido de ambas simultáneamente. Para este tipo de estructuras se puede emplear un controlador numérico teniendo así una variedad de opciones de ejecución mayor.

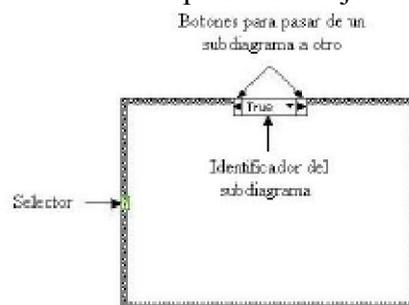


Figura39 Bloque Case Structure

- *Sequence Structure*

En este caso se tienen varios subdiagramas pero únicamente se visualizan uno por pantalla. Este tipo de estructura permite la ejecución de los programas de manera secuencial, teniendo el orden de ejecución desde el 0 hasta el subdiagrama n. En la Figura 40 se muestra la apariencia de esta estructura.

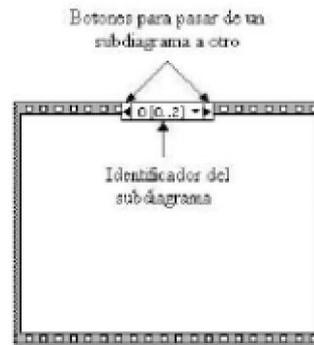


Figura40 Bloque Sequence Structure

- *While Loop*

Posiblemente sea la estructura más empleada en los VI, su funcionamiento es similar al de los lenguajes de programación habituales. Se comprueba el valor de la variable conectada al terminal que ejecuta la orden condicional y si se cumple la condición de funcionamiento se vuelve a ejecutar lo que se encuentre dentro del bucle, de caso contrario se detiene la ejecución. A la hora de emplearla en la programación su representación es como se muestra en la Figura 41.

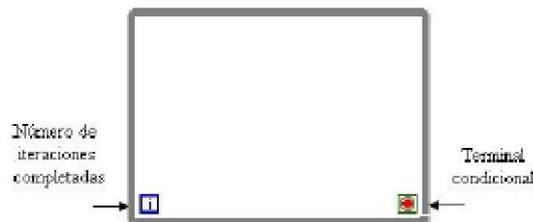


Figura41 Bloque While Loop

- *For Loop*

Similar al *While Loop*, pero en este caso la ejecución se realiza un determinado número de veces marcado por un indicador numérico a la entrada del bloque tal y como se puede observar en la Figura 42.

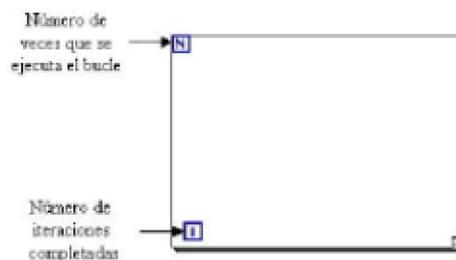


Figura42 Bloque For Loop

- *Event Structure*

Presenta la posibilidad de ejecutar uno o varios subdiagramas a elección del usuario dependiendo de la interacción del usuario con el VI. En la parte superior izquierda posee el *Event Timeout* que indica el tiempo (en ms) que ha de transcurrir para que se ejecute el evento tal y como se muestra en la Figura 43. El *Event Data Node* aporta información sobre la fuente del evento en su valor actual y anterior al evento.

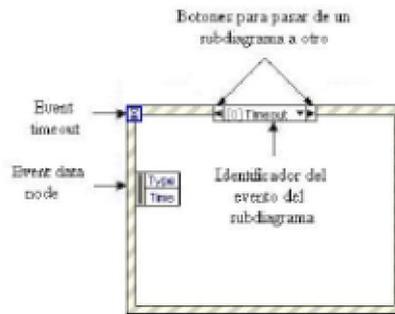


Figura43 Bloque Event Structure

4.1.3 Paleta de Controles y Funciones.

Paleta de Controles

Se puede emplear cuando se está trabajando en el *Panel Frontal*, contiene todos los elementos necesarios para realizar el interfaz del VI (controles e indicadores). Los controles son elementos que permiten al usuario interactuar con el VI mientras que los indicadores permiten al usuario ver el estado de las variables del VI. Cada icono puede contener a su vez un subgrupo de elementos o bien directamente introducirlos en el Panel Frontal. El aspecto de genérico del *Panel Frontal* es el que se muestra en la Figura 44.

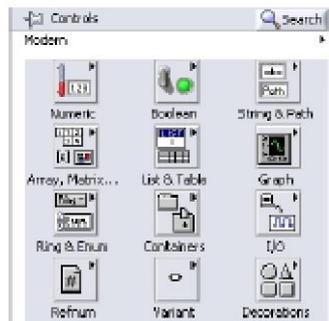


Figura44 Paleta de Controles

Paleta de Funciones

Se emplea cuando se trabaja en el *Diagrama de Bloques*, en este caso dicha paleta contiene todos los elementos necesarios para desarrollar la programación y diseño del *VI*, al igual que con la *Paleta de Controles* cada icono puede tener un subgrupo de elementos que pueden ser otros *VI's* o elementos que se vayan a implementar en el diseño. Su apariencia general es la que se muestra en la Figura 45.



Figura45 Paleta de Funciones

4.2. Tarjeta de adquisición de datos NI-USB6009.

La tarjeta de adquisición de datos uno de los elementos más importantes del sistema, ya que se encarga de adquirir, procesar y emitir las señales que gobiernan e indican el estado de las variables a monitorizar. En l Figura 46 se muestra la tarjeta de adquisición empleada para realizar la adquisición de datos.

Las características técnicas de la tarjeta *NI-USB6009*, se adaptan bien a las del convertidor de frecuencia empleado, ya que ésta posee ocho entradas analógicas, dos salidas analógicas y doce entradas y salidas digitales además de un contador de 32-bits.



Figura 46. Tarjeta NI USB 6009

El funcionamiento de la tarjeta se lleva a cabo a través del puerto USB del cual recibe la energía necesaria para que pueda operar, además una vez realizada su conexión con el PC es necesaria la instalación del software de NI (*NI-DAQmx*) para la correcta identificación de la misma y se lleven a cabo los test de funcionamiento

De manera general la *NI-USB6009* responde al diagrama de bloques mostrado en la Figura 47. [8]

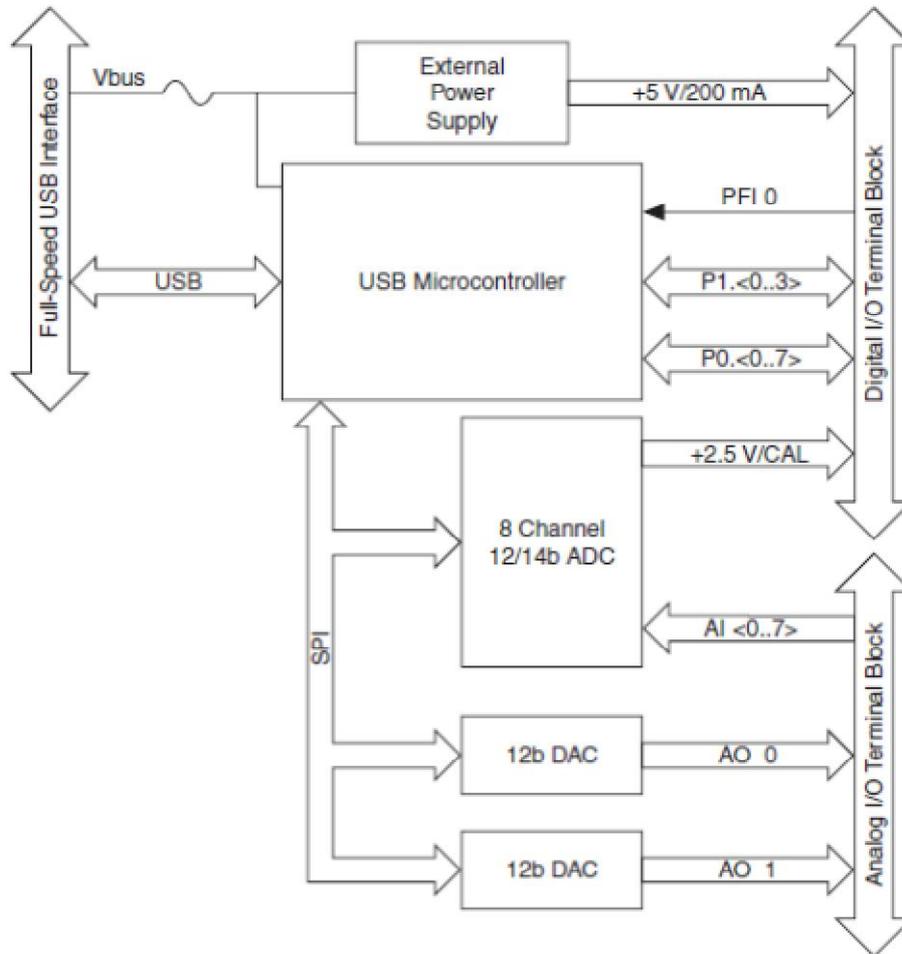


Figura 47 Diagrama de bloques NI 6009

Posición de los pines y funcionamiento

El conexionado de los pines para las señales analógicas es el que se muestra en la Figura 48 y la asignación de pines para las señales digitales en la Figura 49. En la tabla 16 se muestra una descripción general de las señales con las que trabaja la tarjeta de adquisición de datos.[8]

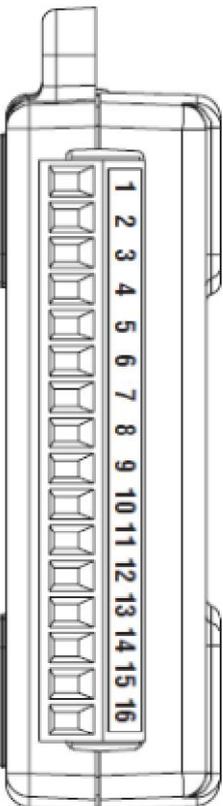
Module	Terminal	Signal, Single-Ended Mode	Signal, Differential Mode
	1	GND	GND
	2	AI 0	AI 0+
	3	AI 4	AI 0-
	4	GND	GND
	5	AI 1	AI 1+
	6	AI 5	AI 1-
	7	GND	GND
	8	AI 2	AI 2+
	9	AI 6	AI 2-
	10	GND	GND
	11	AI 3	AI 3+
	12	AI 7	AI 3-
	13	GND	GND
	14	AO 0	AO 0
	15	AO 1	AO 1
	16	GND	GND

Figura 48 Asignación de pines analógicos

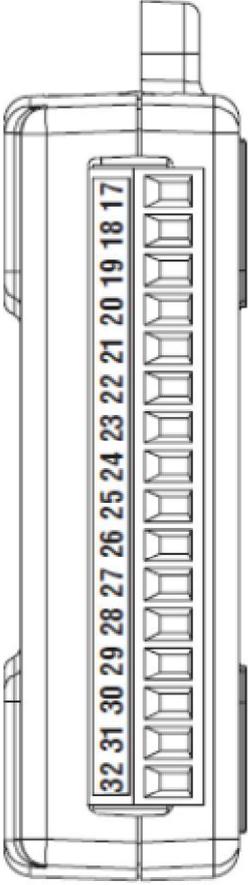
Module	Terminal	Signal
	17	P0.0
	18	P0.1
	19	P0.2
	20	P0.3
	21	P0.4
	22	P0.5
	23	P0.6
	24	P0.7
	25	P1.0
	26	P1.1
	27	P1.2
	28	P1.3
	29	PFI 0
	30	+2.5 V
	31	+5 V
	32	GND

Figura 49 Asignación de pines digitales

Señal	Referencia	Dirección	Descripción
GND	-	-	Sirve de referencia para todas las medidas analógicas, retorno para la corriente bias en medidas diferenciales, salidas AO, la fuente de 5 V y la referencia de 2.5 Vdc
AI <0 a 7>	Varias	Entradas	Se emplea para medidas simples, cada señal es una entrada analógica de tensión. Para las medidas diferenciales, las entradas AI 0 y AI 4 son las entradas positivas y negativas respectivamente para la entrada diferencial del canal 0, así mismo forman “entradas diferenciales” las parejas <AI1-AI5>, <AI2-AI6>, <AI3-AI7>
AO 0	GND	Salida	Sirve de salida de tensión para el canal 0
AO 1	GND	Salida	Sirve de salida de tensión para el canal 1
P1<0 a 3>	GND	Entradas/Salidas	Se pueden configurar cada señal como entrada o salida digital
P0<0 a 7>	GND	Entradas/Salidas	
+2.5 V	GND	Salida	Referencia de 2.5 para pruebas en modo “wrap back”
+5 V	GND	Salida	Suministra una fuente de +5 V y 200 mA.
PFI 0	GND	Entrada	Se puede configurar este canal como trigger digital o bien como contador de señales.

Tabla 16 Descripción de las señales

Esquema de funcionamiento de las entradas analógicas.

El funcionamiento de las entradas digitales funciona tal y como se muestra en la Figura 50.

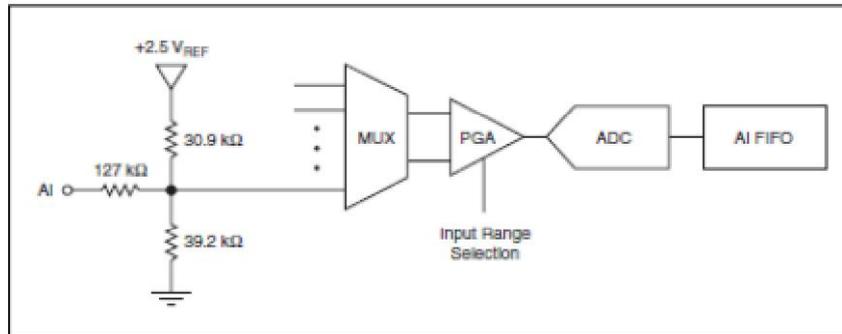


Figura 50 Circuito entradas analógicas

Donde:

- El módulo MUX es el multiplexor que conecta con la PGA.
- El módulo PGA es un amplificador de ganancia de valor variable cuando están configuradas las entradas en modo diferencial y de valor 1 cuando funciona como entrada simple (ganancia automáticamente calculada en función de la tensión de entrada).
- El módulo ADC es un convertor analógico digital.
- El módulo AI FIFO que consiste en un buffer que almacena datos siguiendo un sistema *first in first out* para asegurarse que no se pierden datos durante la adquisición.

Esquema de funcionamiento de las salidas analógicas.

En la Figura 51 se muestra de manera aproximada el esquema de funcionamiento de las salidas analógicas.

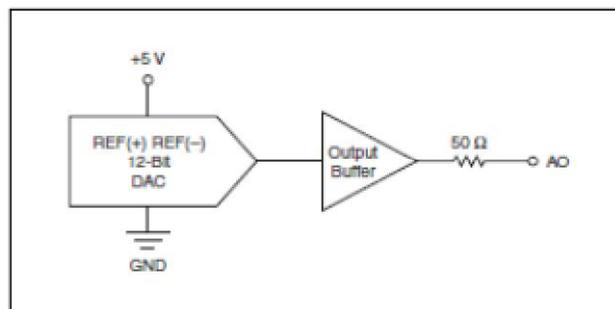


Figura51 Circuito salidas analógicas

Esquema de funcionamiento de las entradas/salidas digitales.

En la Figura 52 se muestra de manera aproximada el circuito representativo de las entradas y salidas digitales.

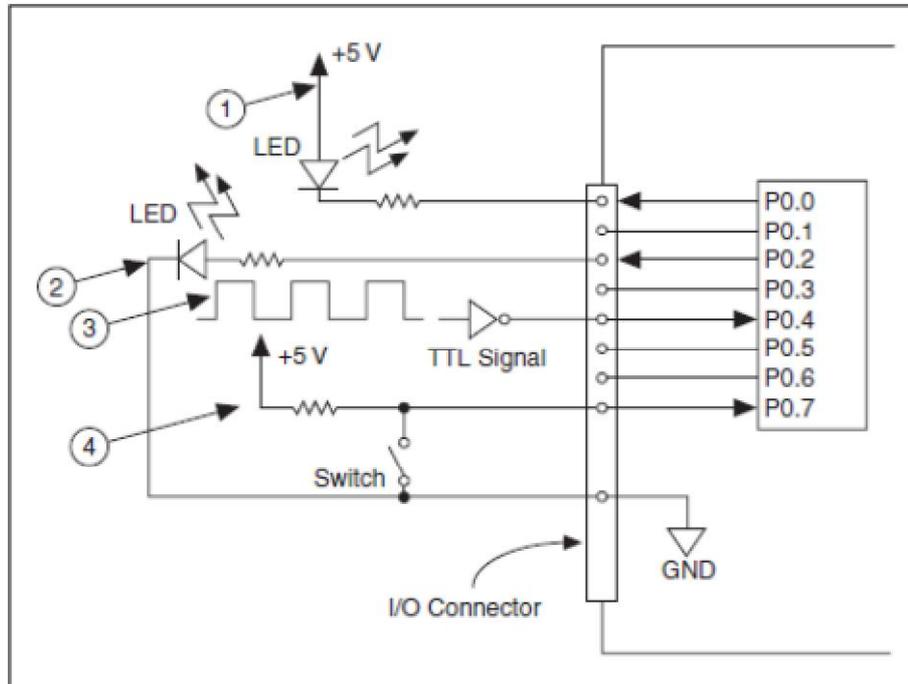


Figura52 Circuito E/S digitales.

Donde (La elección de los pines para el ejemplo es aleatoria):

1. P0.0 está configurado como salida digital en modo *colector abierto* para accionar un LED.
2. P0.2 está configurado como salida digital activa para accionar un LED.
3. P0.4 está configurado como entrada digital que recibe una señal TTL externa.
4. P0.7 está configurado como entrada digital que recibe 0V ó 5V a través de un relé o pulsador.

Referencia externa de 2.5V

La *USB6009* dispone de una fuente referencia de 2.5V que puede ser empleada para conversión analógica-digital empleando un regulador multiestado, amplificador o circuito de filtro. Se puede emplear dicha señal como señal de referencia para pruebas de funcionamiento.

Fuente de 5V

También se dispone de una fuente de alimentación de 5V 200mA que puede ser empleada para alimentar circuitos externos.

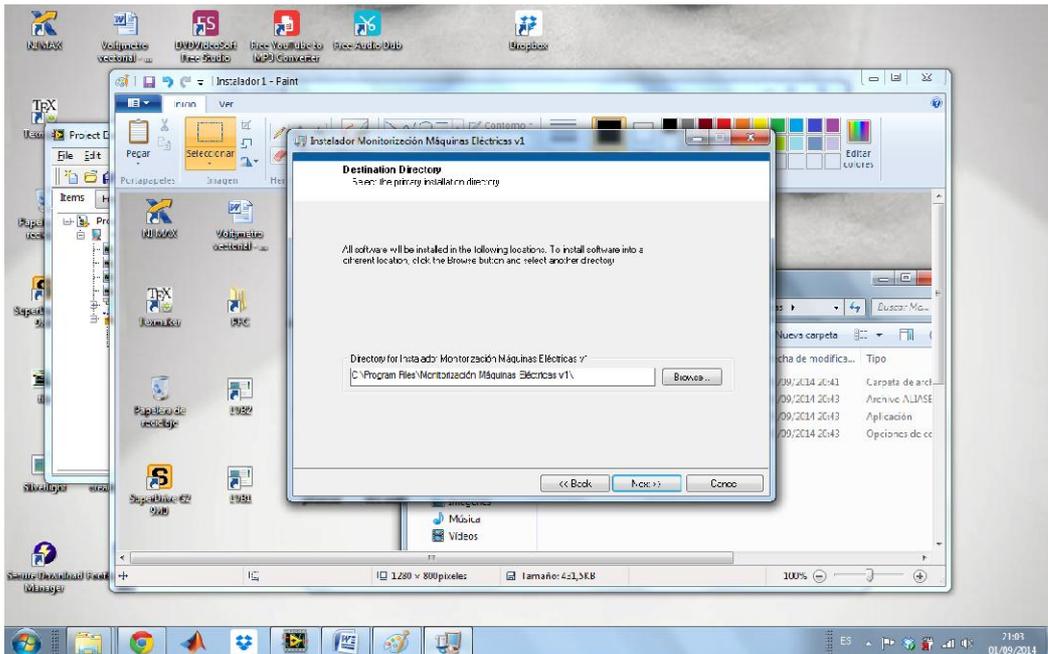


Figura 54 Ventana instalador II

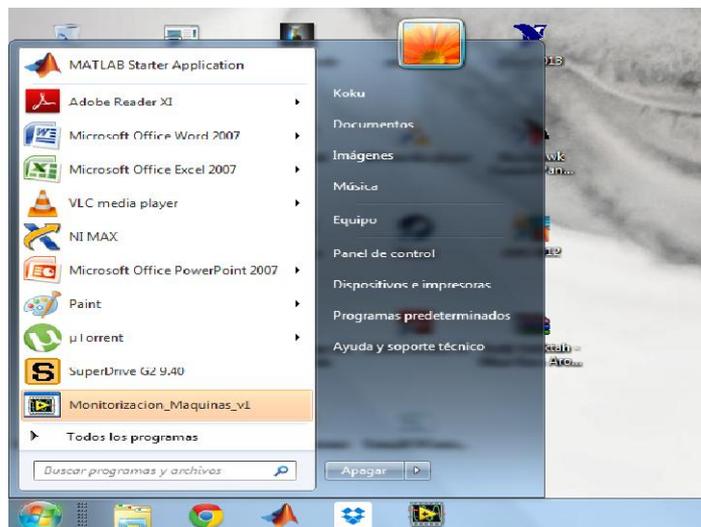


Figura 55 Ubicación ejecutable Menú Windows

Para la realización de dicho ejecutable se deben incluir todos los VI que lo compondrán, de modo similar a cuando se realiza un proyecto nuevo en *Labview*, en este caso los VI que componen nuestro sistema son:

- Menú Principal.vi
- Salto ventana.vi
- Modo V/f y Vectorial.vi
- Modo Multispeed.vi

5.1 Menú Principal.

Tal y como se muestra en la Figura 56 es la pantalla que se encontrará el usuario en cuanto ejecute la aplicación, en ella se puede observar un menú el cual ofrece la posibilidad de seleccionar el modo en el que trabajará el sistema pudiendo elegir entre el modo v/f y vectorial, el modo Multispeed. Una vez seleccionada algunas de las anteriores opciones se desplegará su ventana asociada.

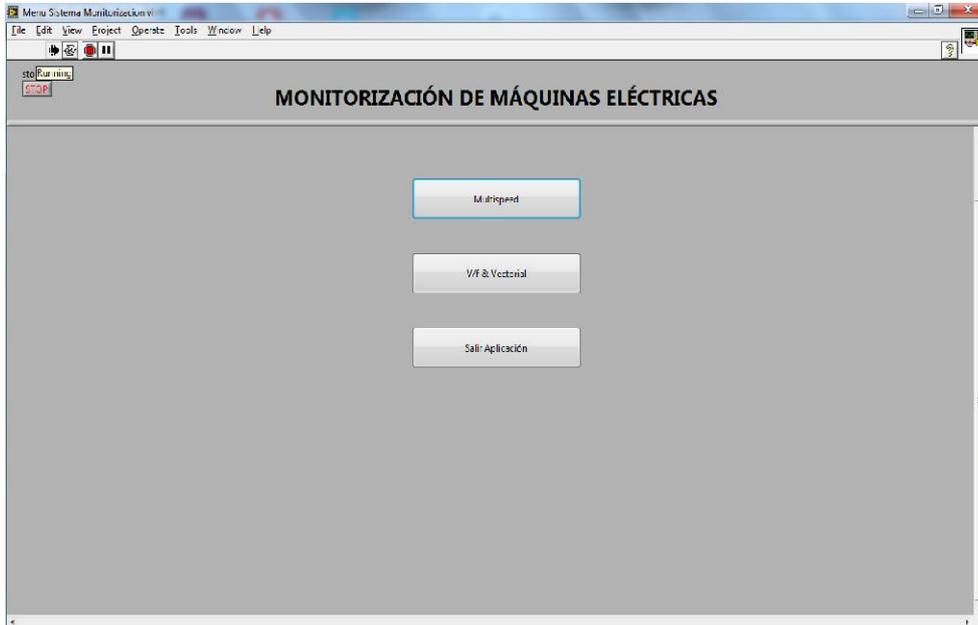


Figura 56 Menú Sistema Monitorización

5.2 Modo V/f y Vectorial.

En este modo el sistema está diseñado para monitorizar el motor cuando éste está operando en modo V/f o bien en modo vectorial. Se ha optado por englobar a ambos modos de operación dentro del mismo interfaz debido a que los parámetros a monitorizar y las variables que se modificarán serán las mismas para ambos modos de operación. La vista del panel frontal es tal y como se muestra en la Figura 57



Figura 57 Panel Frontal Modo V/f & Vectorial

De la Figura57 se pueden distinguir varias zonas dentro del interfaz con el que trabajará el usuario:

1. Submenú donde se puede seleccionar dentro de las siguientes opciones: *Guardar Resultados* (se guardan los datos en un archivo Excel para su posterior tratamiento), *Volver a Menú Principal* (se vuelve la ventana de *Menú Principal*), *Salir Aplicación* (Se detiene la ejecución del programa y se sale del mismo).
2. Zona de visualización gráfica de parámetros (velocidad del motor, corriente eficaz del convertidor, Tensión y corriente del motor, potencia activa, potencia reactiva y potencia aparente).
3. Zona de visualización numérica de parámetros (velocidad consigna del motor, velocidad del motor, corriente del convertidor, corriente del motor, tensión del motor, factor de potencia y ángulo ϕ del motor, además de la potencia activa, reactiva y aparente).
4. Zona mando y manipulación de parámetros, aquí se órdenes al convertidor (marcha/paro, 1ª/2ª rampa, sentido horario y modificación de velocidad de consigna) y se modifican parámetros que se tendrán en cuenta a la hora de hacer la lectura de parámetros (valor sonda de corriente, valor sonda de tensión).
5. Zona de estados, se pueden visualizar los parámetros de estado del convertidor y del motor (Activo/desactivado, Run/stop, sobrecorriente convertidor y sobrecorriente motor).
6. Botón ON/OFF que actúa para detener el programa de manera en caso de ser necesario (podría hacer las veces de *seta de emergencia*).

A continuación se describen cada uno de los elementos que forman parte del interfaz en el modo V/f:

- Velocidad en (rpm)

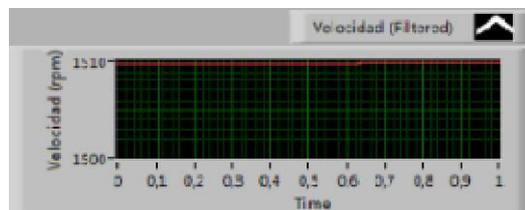


Figura 58 Panel de velocidad

Muestra el valor de velocidad en rpm, permite observar si se realizan correctamente las rampas de velocidad programadas.

- Corriente

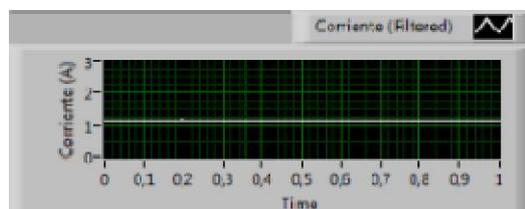


Figura 59 Panel de corriente

Muestra el valor de corriente eficaz en Amperios a la salida del convertidor.

- Tensión y corriente del motor

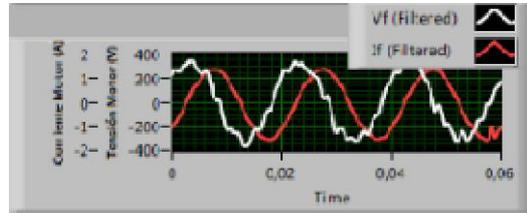


Figura 60 Panel de tensión

Se puede observar el valor de la tensión de fase en Voltios y corriente de fase en Amperios del motor, dichas medidas son tomadas directamente del motor.

- Potencia aparente



Figura 61 Panel potencia aparente

Muestra el valor de potencia aparente en VA que demanda el motor.

- Potencia activa



Figura 62 Panel potencia activa

Muestra el valor de potencia activa en W consumida por el motor.

- Potencia reactiva

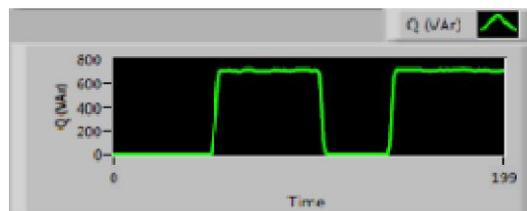


Figura 63 Panel potencia reactiva

Muestra el valor de potencia reactiva en Var consumida por el motor.

- Indicador de velocidad consigna

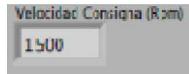


Figura 64 Indicador velocidad consigna

En él se puede observar el valor de la consigna de velocidad introducida por el usuario.

- Factor de potencia



Figura 65 Indicador factor de potencia

Muestra el valor de factor de potencia del motor, dicho valor no es medido directamente sino que es calculado en el programa.

- Ángulo phi del motor



Figura 66 Indicador ángulo phi motor

Muestra el valor del ángulo phi, al igual que el factor de potencia, dicho valor es calculado en el programa.

- Velocidad de consigna



Figura 67 Controlador velocidad consigna

Con este controlador el usuario puede variar la velocidad de consigna del motor de manera instantánea.

- Marcha/Paro



Figura 68 Pulsador marcha/parado

Permite al usuario dar las órdenes de arranque y parada al motor.

- Sentido de giro



Figura 69 Pulsador sentido giro

Con este control el usuario puede seleccionar el sentido de giro del motor, pudiendo ser horario o anti horario.

- 1ª/2ª Rampa

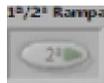


Figura 70 Pulsador 1ª/2ª rampa

Permite al usuario seleccionar la rampa de aceleración del motor entre la las dos rampas que tenga programadas previamente en el convertidor de frecuencia.

- Constante de la sonda de corriente

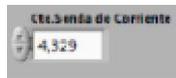


Figura 71 Controlador sonda de corriente

Permite ajustar el valor de la sonda de corriente. El valor viene calculado a partir de la relación: 1A/231mV por lo tanto los valores que debe adoptar el parámetro deben ser en función del número de vueltas de la sonda amperimétrica o de su relación de transformación (por defecto 1:1)

- Constante de la sonda de tensión

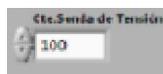


Figura 72 Controlador sonda de tensión

Permite ajustar el valor de la sonda de la tensión con la que se realiza la medida. Por defecto será 100 (suponiendo que se tiene una sonda con la relación 1/100 V/V)

- Corriente nominal del motor

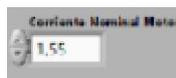


Figura 73 Controlador corriente nominal

Mediante este control el usuario puede establecer el valor nominal de la corriente del motor con el que esté trabajando, dicho valor permitirá habilitar la señal de *sobrecorriente corriente del motor* en caso de que se supere dicho valor.

- Estado del convertidor



Figura 74 Indicador estado convertidor

Indica si el convertidor se encuentra preparado para el uso (estado Activo) o bien se encuentra apagado.

- Run/Stop



Figura 75 Indicador motor

Indica al usuario si el motor se encuentra encendido o bien está apagado.

- Sobrecorriente convertidor

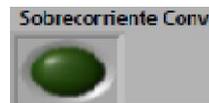


Figura 76 Indicador sobrecorriente convertidor

Se encarga de indicar si el convertidor está trabajando a una corriente superior a la nominal, se acciona directamente por el convertidor.

- Sobrecorriente motor



Figura 77 Indicador sobrecorriente motor

Indica si la corriente del motor es superior a la establecida por el usuario, en caso de que esta sea superior a la nominal el indicador se encenderá.

En caso de que el usuario desee guardar los datos con los que está trabajando debe pulsar el botón de *Guardar Resultados* desplegándose a continuación un cuadro de diálogo indicando como se muestra en la Figura78 dónde se desea ubicar el archivo y la extensión del mismo, por defecto son archivos *.lvm* aunque si se desea que sean archivos tipo Excel debe indicarse incluyendo la extensión *.xlsx*.

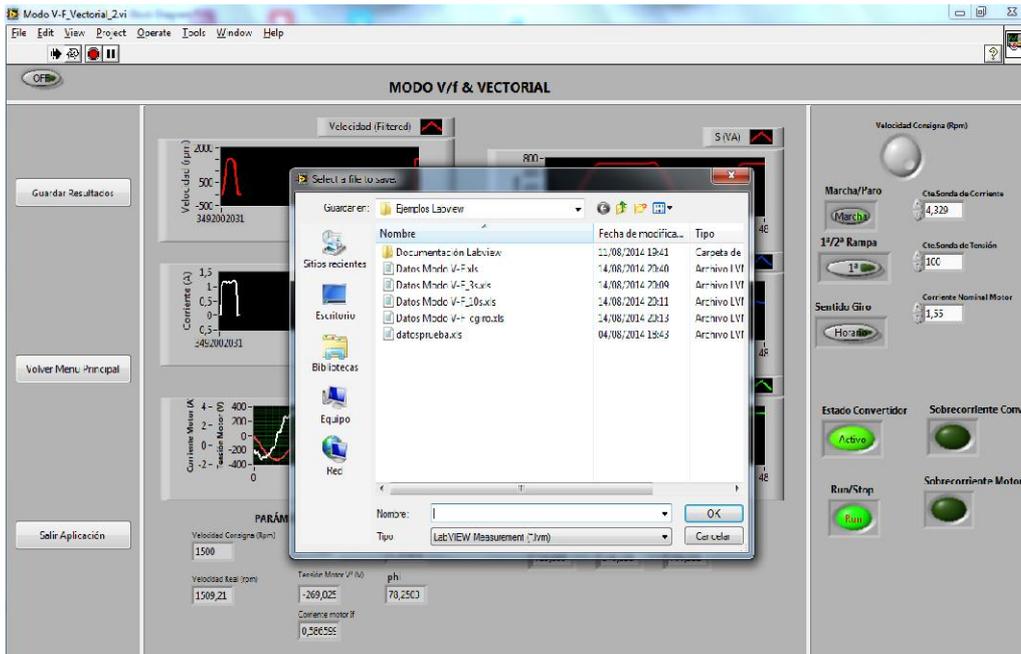


Figura 78 Cuadro diálogo guardar resultados

En caso de que el usuario desee volver al Menú Principal bastará con pulsar el botón de *Volver Menú Principal* y se detendrá la ejecución de la aplicación, pudiendo volver a elegir entre los modos de trabajo.

Cuando se quiera detener la aplicación y salir de la misma bastará con pulsar el botón *Salir Aplicación* y se desplegará un cuadro de diálogo tal y como se muestra en la Figura 79



Figura 79 Cuadro diálogo salir aplicación

5.2.1 Resultados Modo V/f

A continuación se muestran los resultados obtenidos al realizar pruebas en el modo V/f con el sistema de monitorización. Los resultados gráficos que se muestran son tras la generación de los archivos Excel correspondientes una vez se ejecuta la rutina de Guardar Resultados. Un ejemplo de cómo son este tipo de archivos es el que se muestra en la Figura 80.

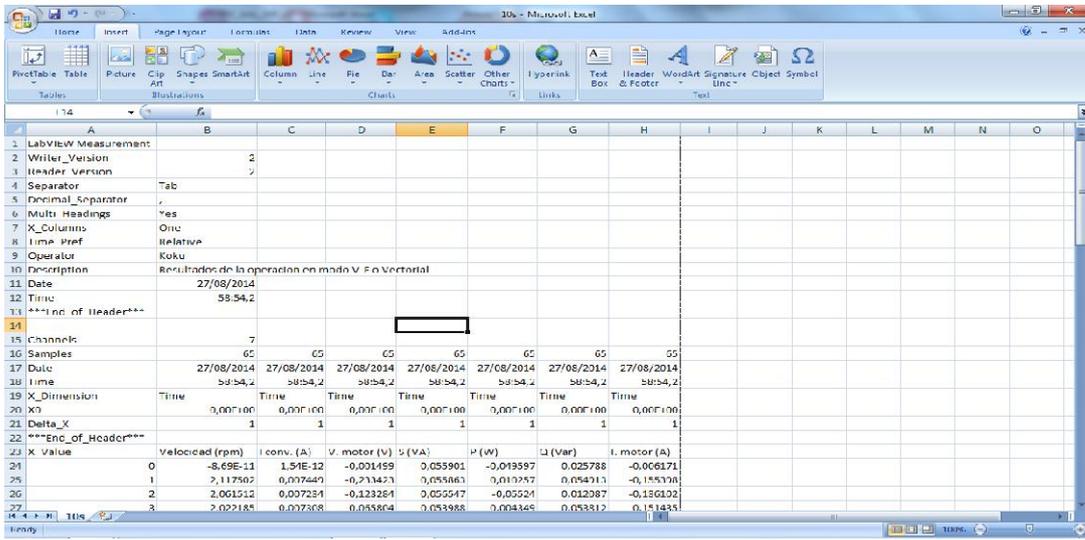


Figura 80 Ejemplo archivo Excel

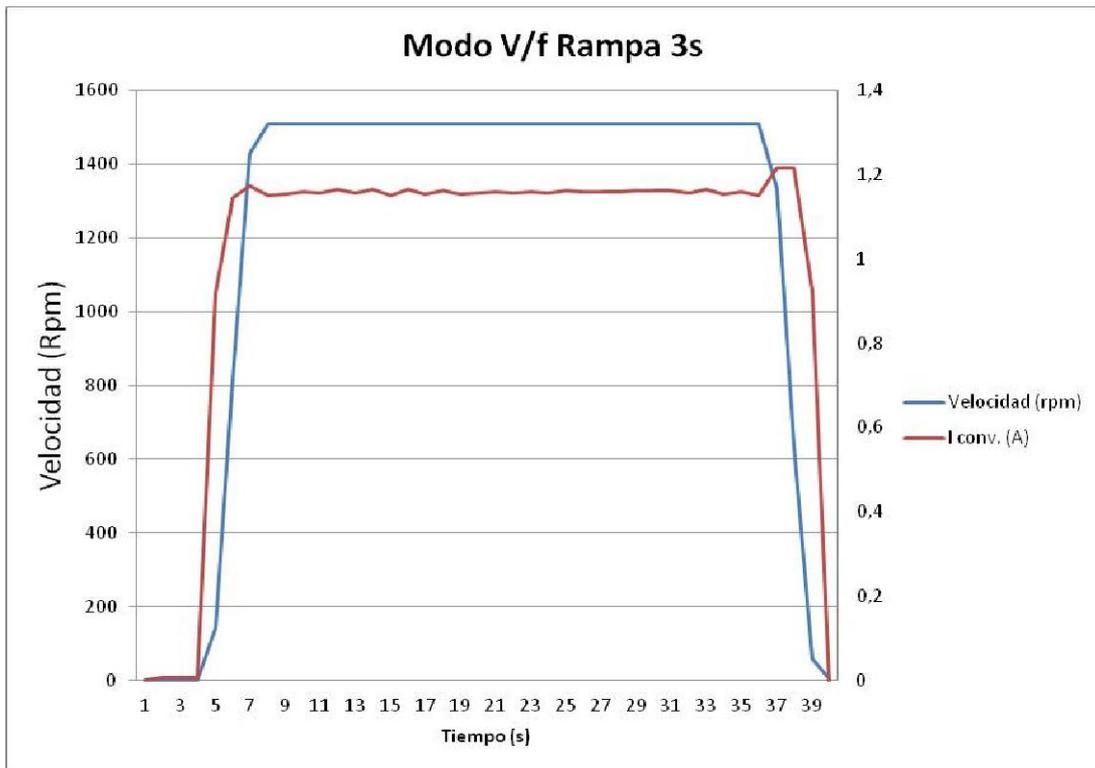


Figura 81 Modo V/f Rampa 3s

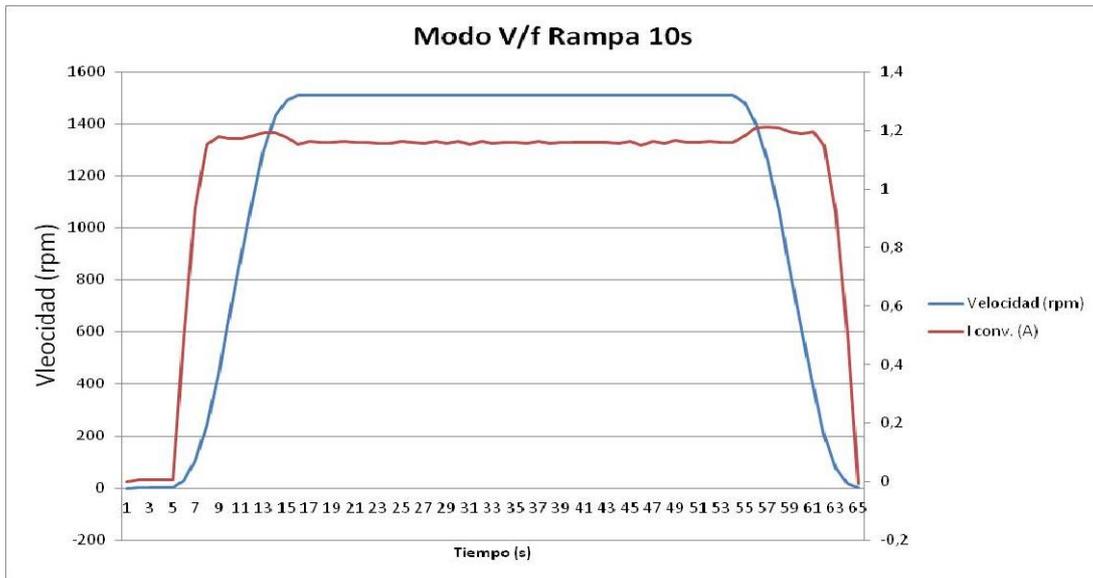


Figura 82 Modo V/f Rampa 10s

Se puede observar que tanto con la rampa de 3 s como la de 10 s se alcanzan las velocidades de consigna (1500 rpm) en el tiempo establecido, así como que el valor de corriente no excede nunca 1.2 A que es aproximadamente la corriente de magnetización del motor ya que en este caso se está funcionando en con el motor en vacío.

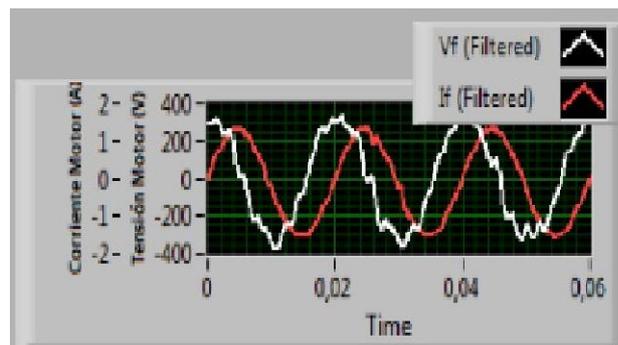


Figura 83 Tensión motor vs Corriente motor

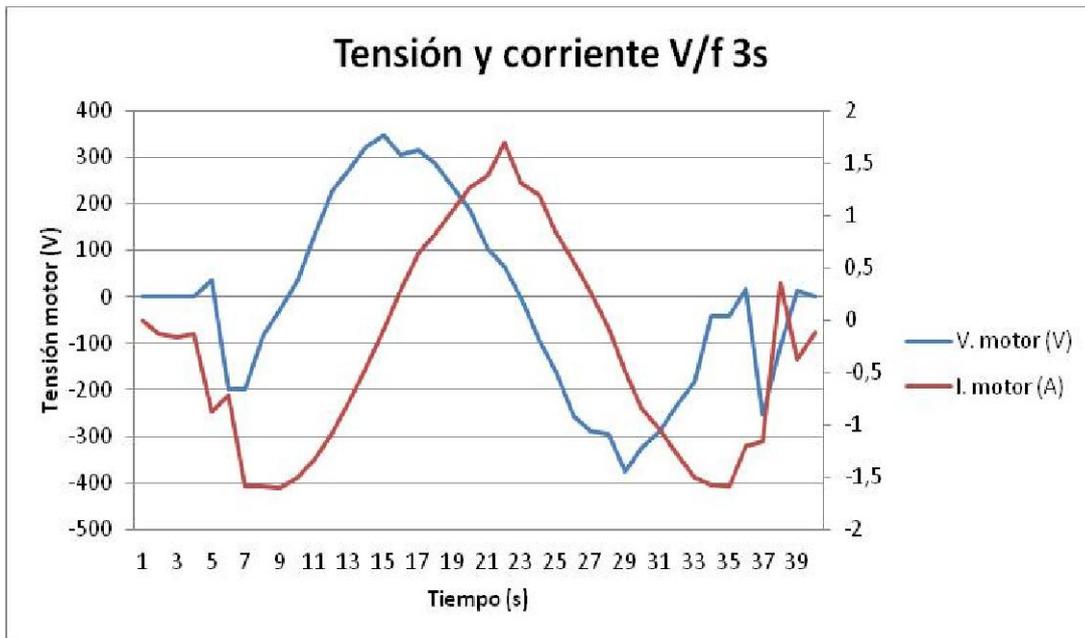


Figura 84 Tensión vs Corriente V/f 3s

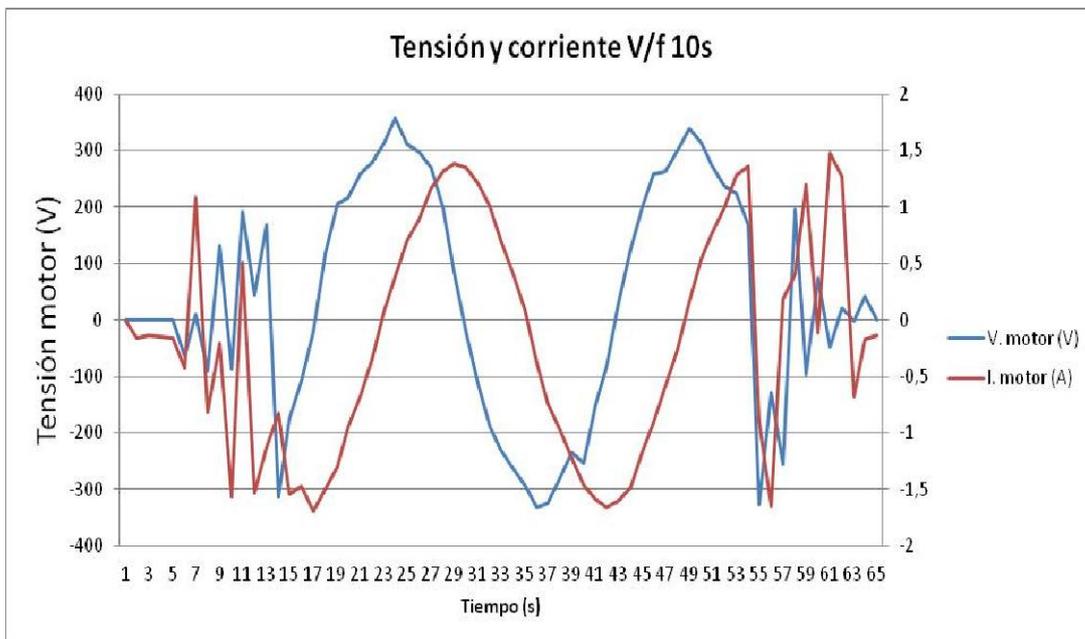


Figura 85 Tensión vs Corriente V/f 10s

En la figura 83 se pueden observar los valores de tensión y corriente del motor medidos por el sistema de manera instantánea, donde se observa que aproximadamente la frecuencia de ambas es de 50 Hz. En las figuras 84 y 85 se pueden observar los valores de tensión y corriente correspondientes a las rampas de 3 y 10 segundos. En ambos casos se observa que parece que ambas señales tienen frecuencias distintas a lo esperado (50 Hz) esto es debido principalmente a dos motivos:

1. El filtrado de señales elimina componentes de tensión y corrientes.
2. El bloque que se encarga de guardar los datos al construir el vector no está almacenando los datos de tensión y corriente en f de 50 Hz, si no que los agrupa en un vector que registra el valor cada x número de muestras. Tiene el aspecto sinodal porque obtiene los valores de tensión cada segundo y estos oscilan aproximadamente entre +- 380 V, (propios de la tensión sinodal) por eso parece que la tensión tiene frecuencias distintas. Lo mismo ocurre con la corriente oscila entre +- 1.2 A aproximadamente. Si se viera con el software de WEG se vería una tensión cte a 380 V y corriente de 1.2 A (como se muestra en la gráfica de la pag 72 Velocidad vs Iconv).

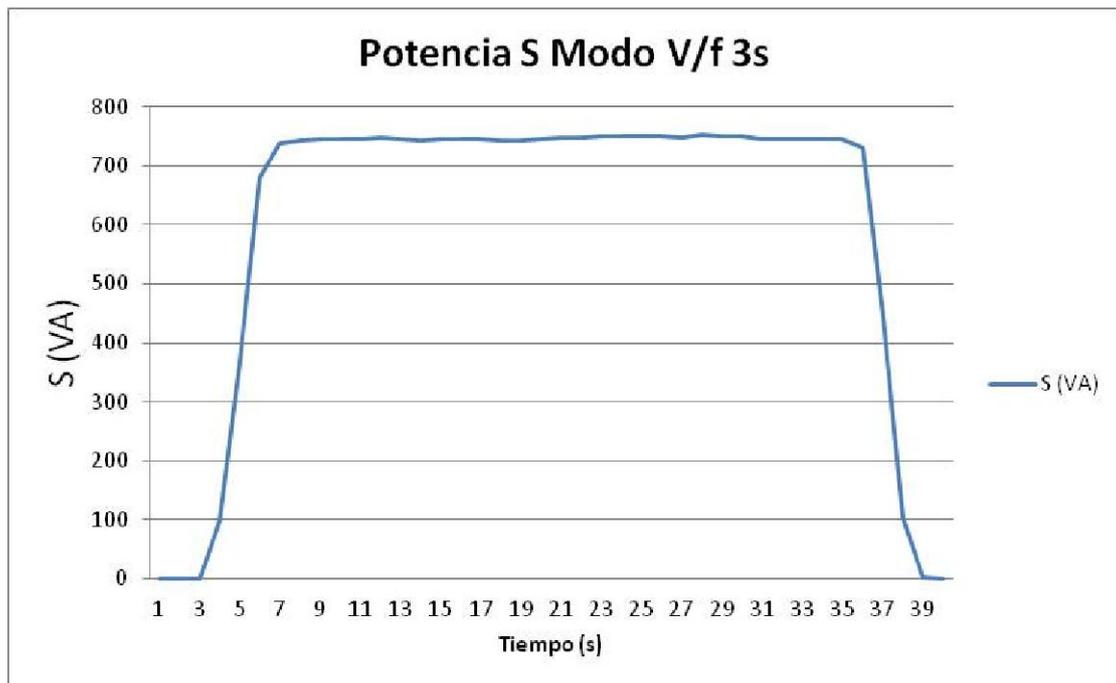


Figura 86 Potencia S V/f 3s

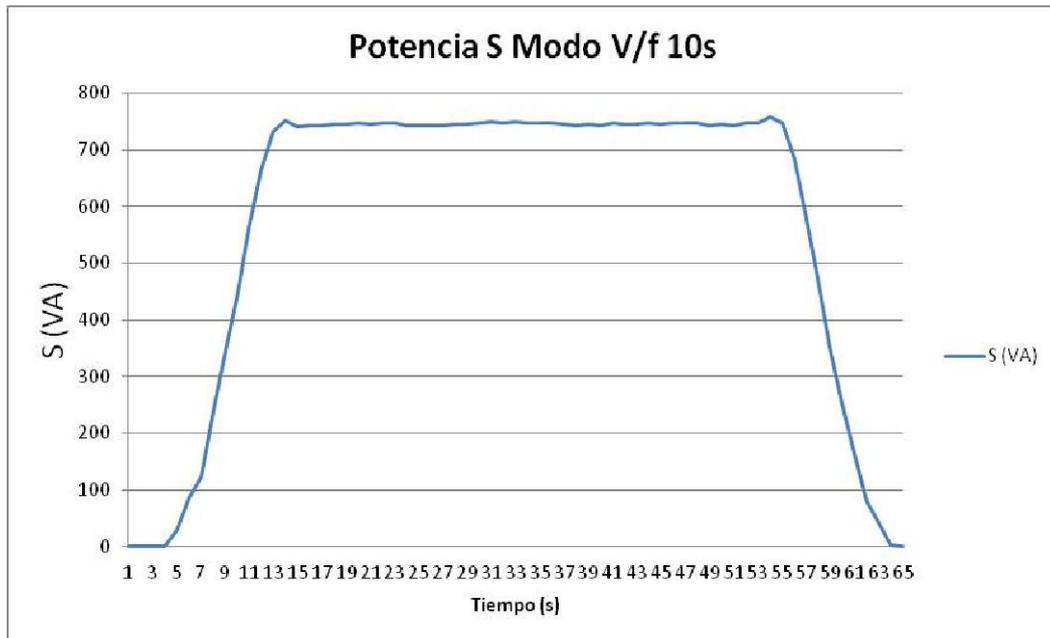


Figura 87 Potencia S V/f 10s

Se puede observar que el valor de potencia aparente S corresponde aproximadamente al valor nominal del motor (750 VA), alcanzándose el valor nominal de potencia cuando se alcanza la velocidad nominal.

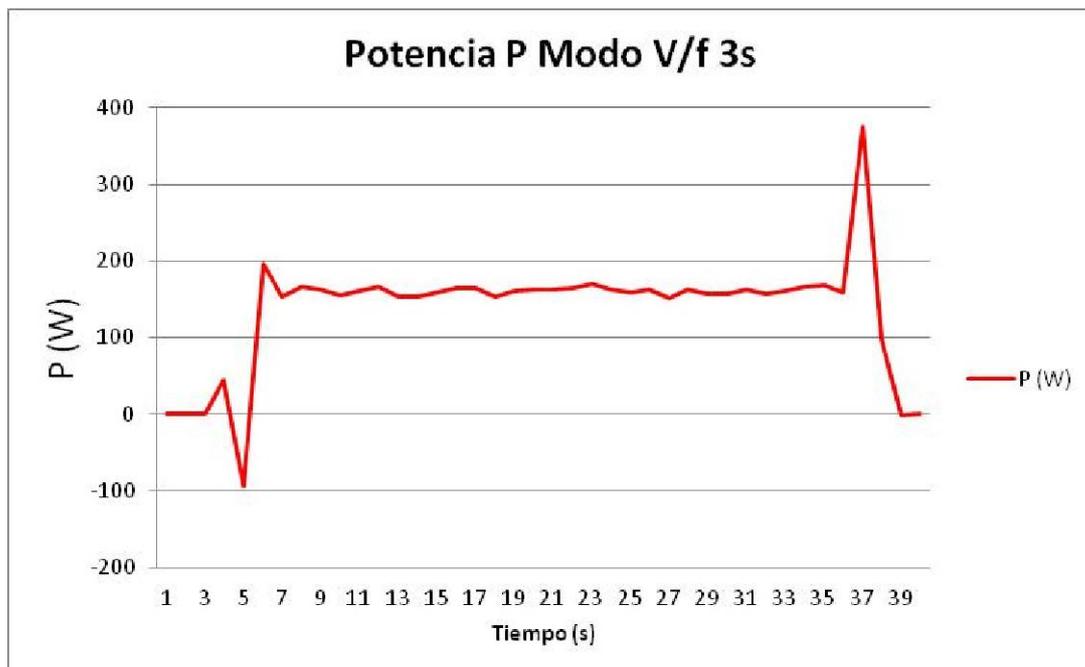


Figura 88 Potencia P V/f 3s

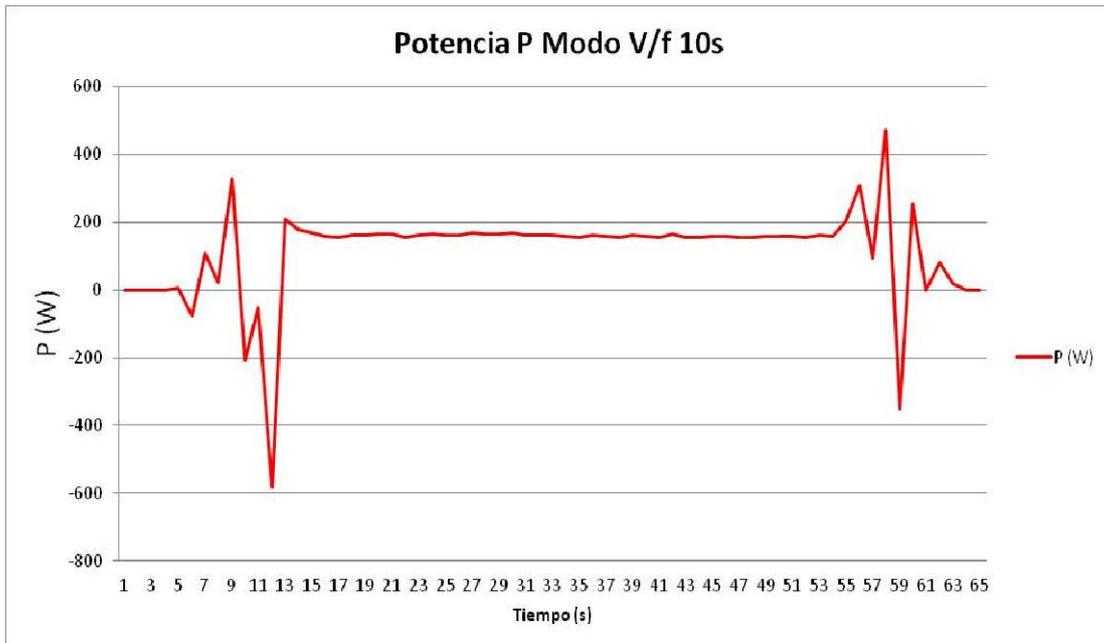


Figura 89 Potencia P V/f 10s

Los valores de potencia activa registrados son los esperados debido a que como el funcionamiento del motor se produce en vacío la potencia activa empleada será la necesaria para vencer a las pérdidas en el eje del motor, aproximadamente a la velocidad nominal está en alrededor de 160 W.

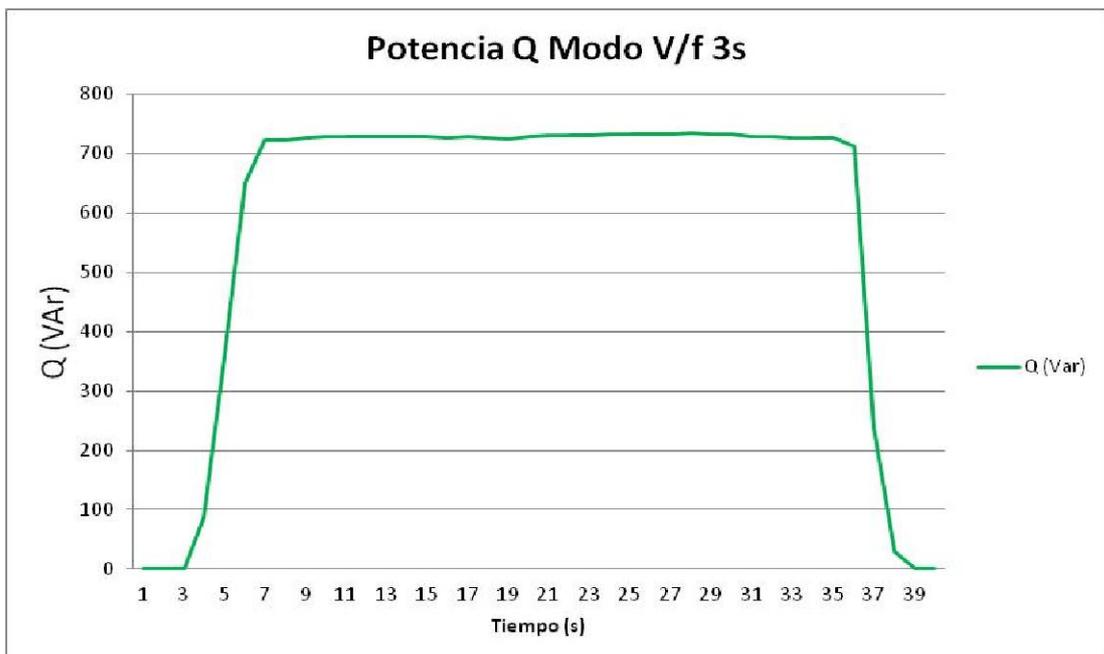


Figura 90 Potencia Q V/f 3s

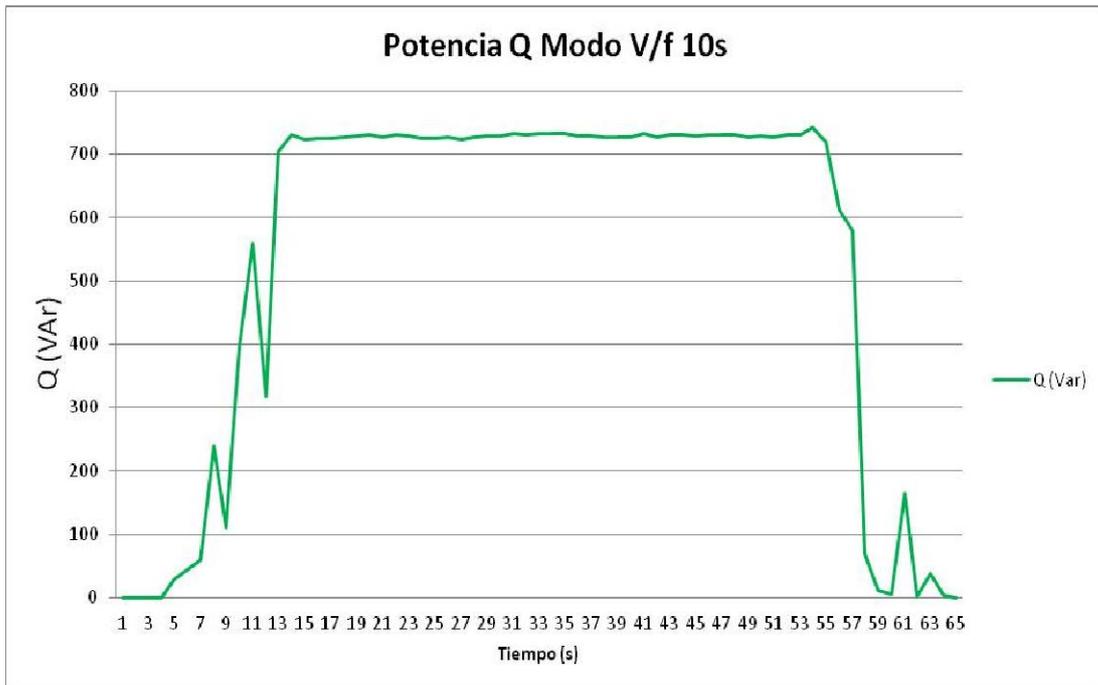


Figura 91 Potencia Q V/f 10s

La potencia reactiva observada en ambas rampas de aceleración registra un valor esperado, debido a que al no tener carga en el eje, casi toda la potencia del motor será la reactiva generada por los propios devanados del motor, tal y como se observa en ambas figuras supera los 700 Var, encontrándose cercana al valor nominal del motor.

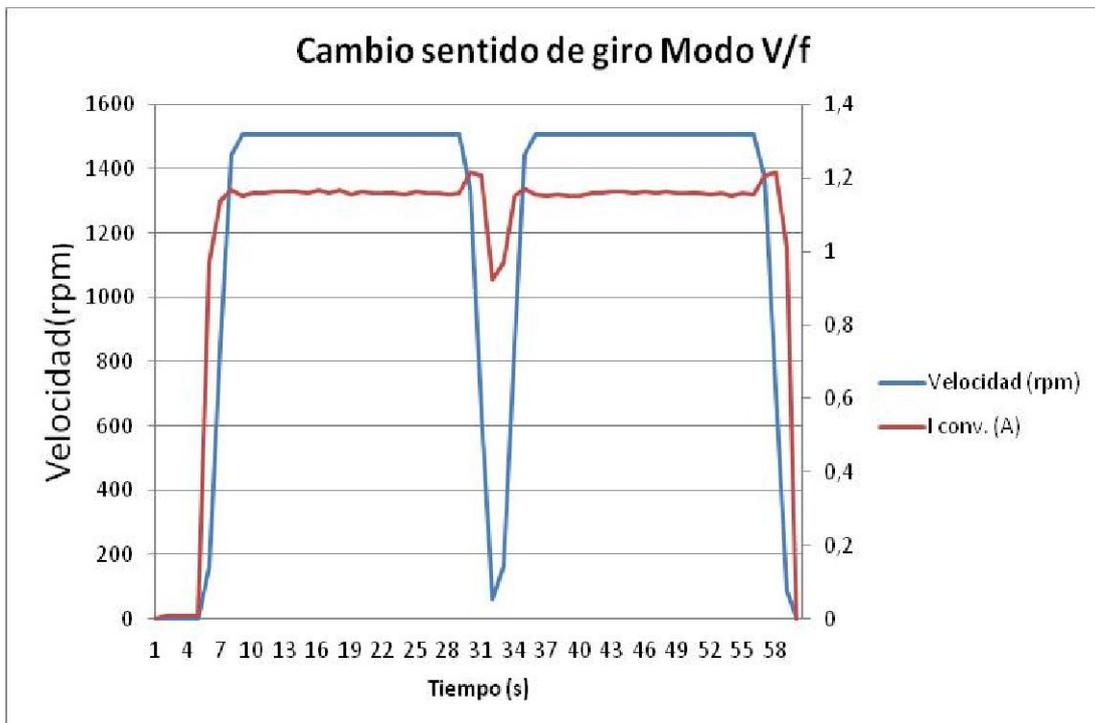


Figura 92 Sentido giro V/f

Se observa que el cambio del sentido de giro del motor se realiza de acuerdo a lo previamente programado en el convertidor, es decir, la rampa de aceleración es de 3s, se puede observar que la corriente del convertidor oscila entre 0,8 A y 1,2 A, no teniendo que descender hasta el valor de 0 A como si de un nuevo arranque se tratase. Por otra parte aunque se muestre que la velocidad del motor vuelve a ser de 1500 rpm, ese es el valor absoluto de la velocidad, ya que realmente el motor al realizarse el cambio del sentido de giro está girando a -1500 rpm.

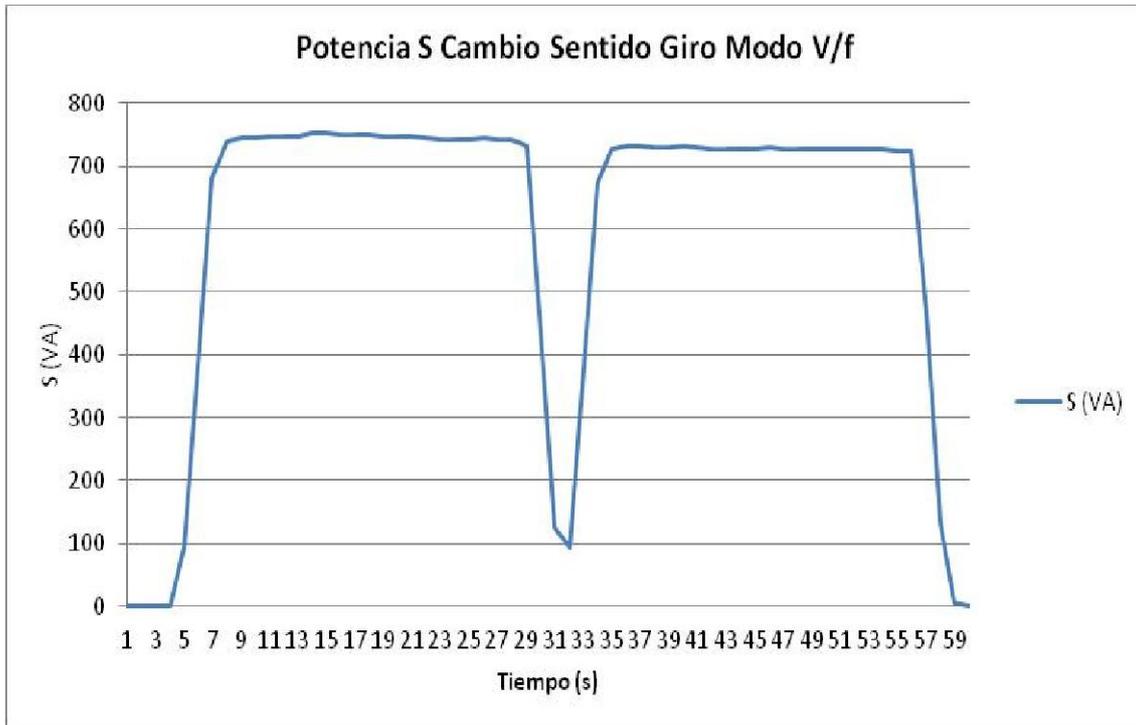


Figura 93 Potencia S sentido giro V/f

El valor de potencia aparente es idéntico al caso de arranque normal, únicamente se produce el descenso hasta aproximadamente 100 VA en el momento que se está realizando el cambio de sentido.

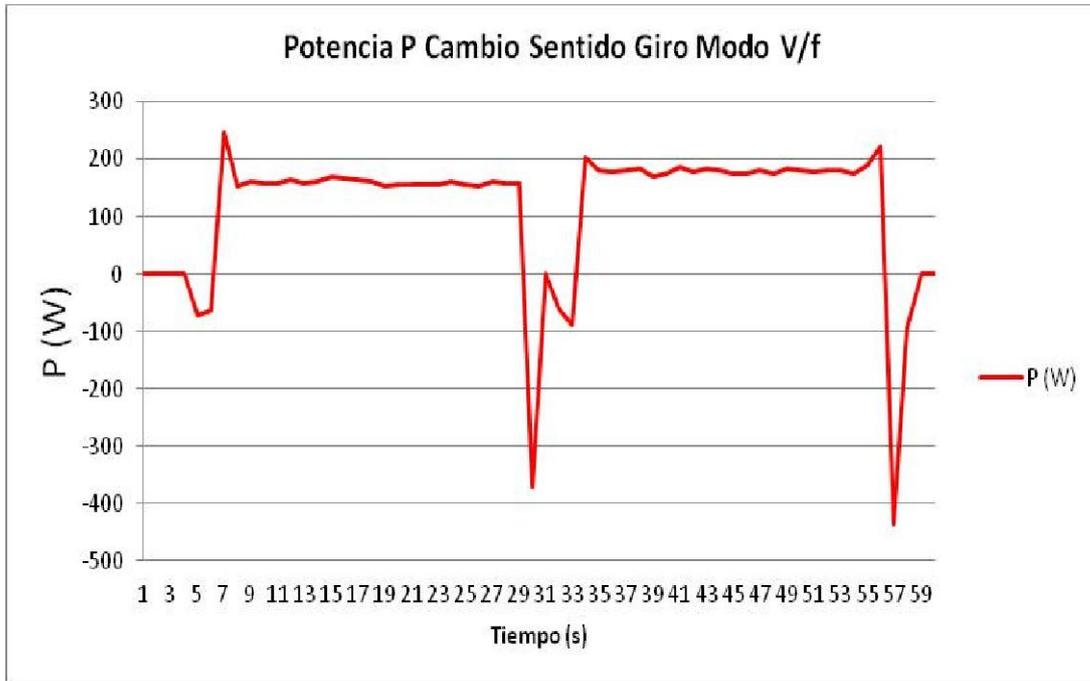


Figura 94 Potencia P sentido giro V/f

En el caso de la potencia activa P en el momento del cambio de sentido de giro se puede observar como en el momento del frenado se produce una gran absorción de potencia activa que es la generada para poder vencer el propio par del motor en el momento del frenado y el nuevo arranque.

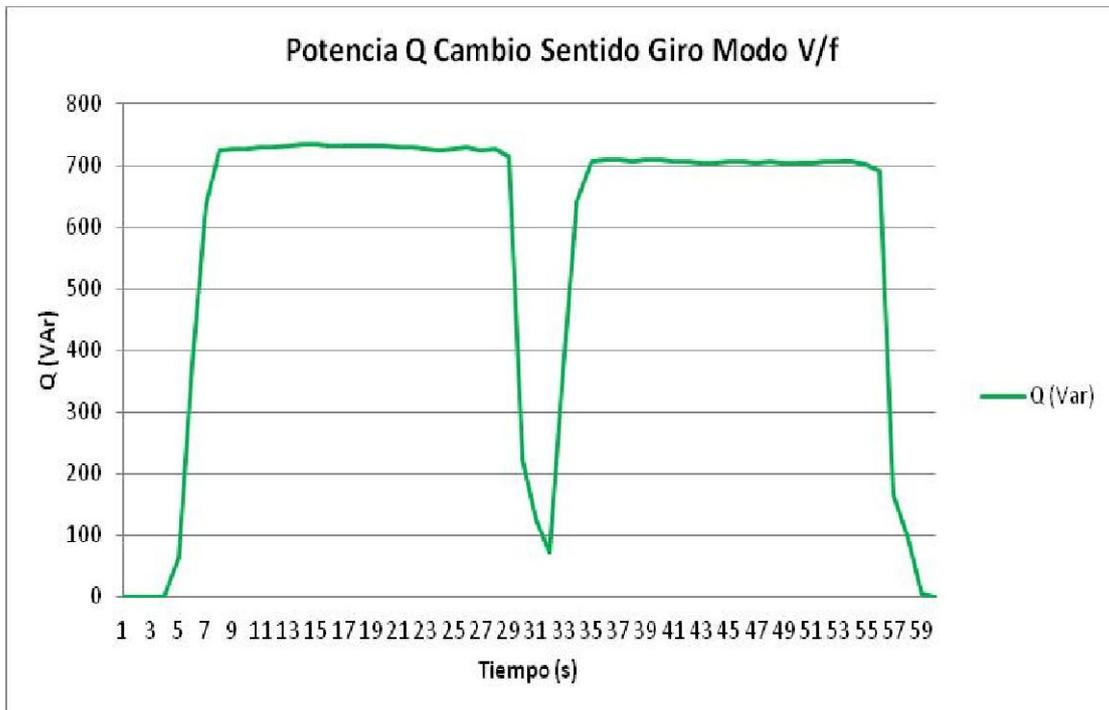


Figura 95 Potencia Q sentido giro V/f

El comportamiento de la potencia reactiva es similar al de la potencia aparente, en el momento del cambio de sentido de giro se produce un descenso hasta aproximadamente unos 100 VAR, para posteriormente alcanzar a velocidad nominal aproximadamente unos 700 VAR.

5.3 Modo Multispeed.

En este modo el sistema está diseñado para monitorizar el motor cuando éste está operando en modo *Multispeed*. En este caso la principal diferencia respecto al modo V/f y vectorial está en que no existe una consigna de velocidad definida por el usuario, sino que en este caso existen 3 velocidades previamente configuradas en el convertidor de frecuencia las cuales pueden ser accionadas a voluntad del usuario tal y como se muestra en la Figura 95.

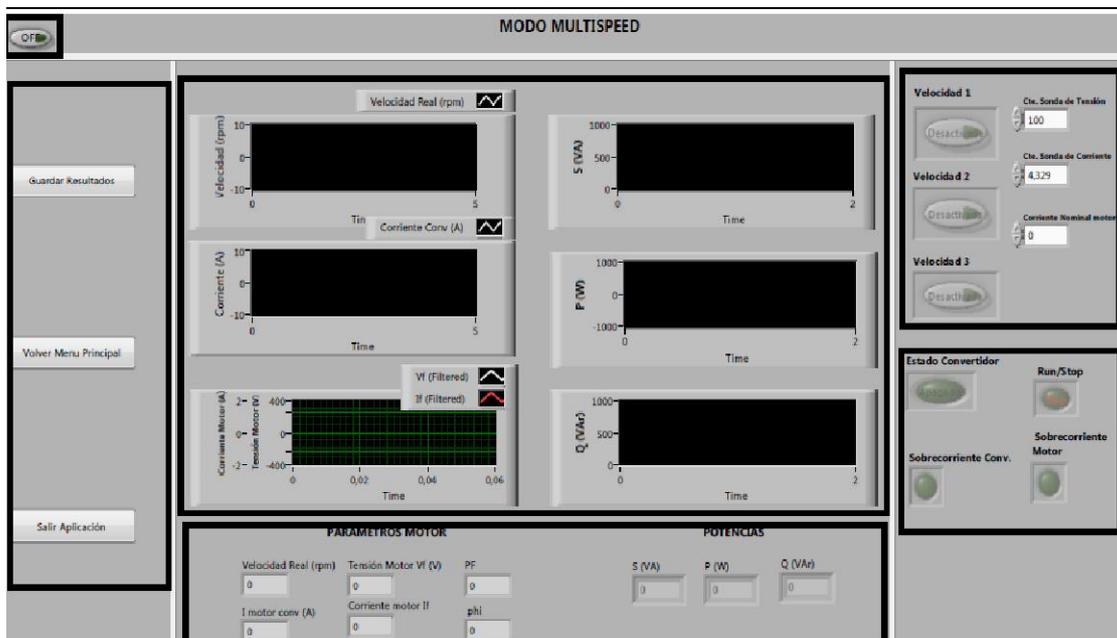


Figura 96 Panel frontal Modo Multispeed

En este caso se tiene que los controles e indicadores son los mismos que en el modo V/f y vectorial, por lo que no será necesario definirlos de nuevo. Se dispone únicamente de los controladores de velocidad cuya función será la de realizar los cambios de velocidad correspondientes, hay que tener en cuenta que las consignas de velocidad son programadas en el convertidor de frecuencia, por lo que las transiciones de unas velocidades a otras debe respetar las especificaciones del propio convertidor, en la Figura 96 se muestra un ejemplo:

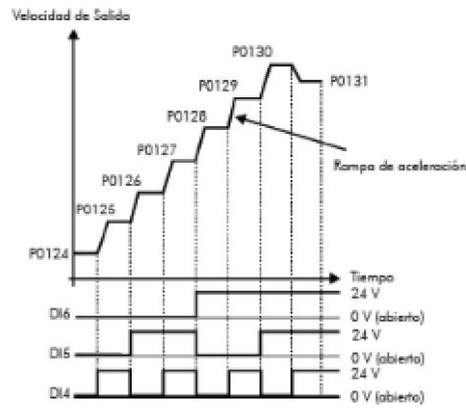


Figura 97 Ejemplo velocidades Multispeed

8 velocidades			
		4 velocidades	
		2 velocidades	
DI6	DI5	DI4	Ref. de Veloc.
0 V	0 V	0 V	P0124
0 V	0 V	24 V	P0125
0 V	24 V	0 V	P0126
0 V	24 V	24 V	P0127
24 V	0 V	0 V	P0128
24 V	0 V	24 V	P0129
24 V	24 V	0 V	P0130
24 V	24 V	24 V	P0131

Figura 98 Combinación entradas digitales Multispeed

5.3.1 Resultados

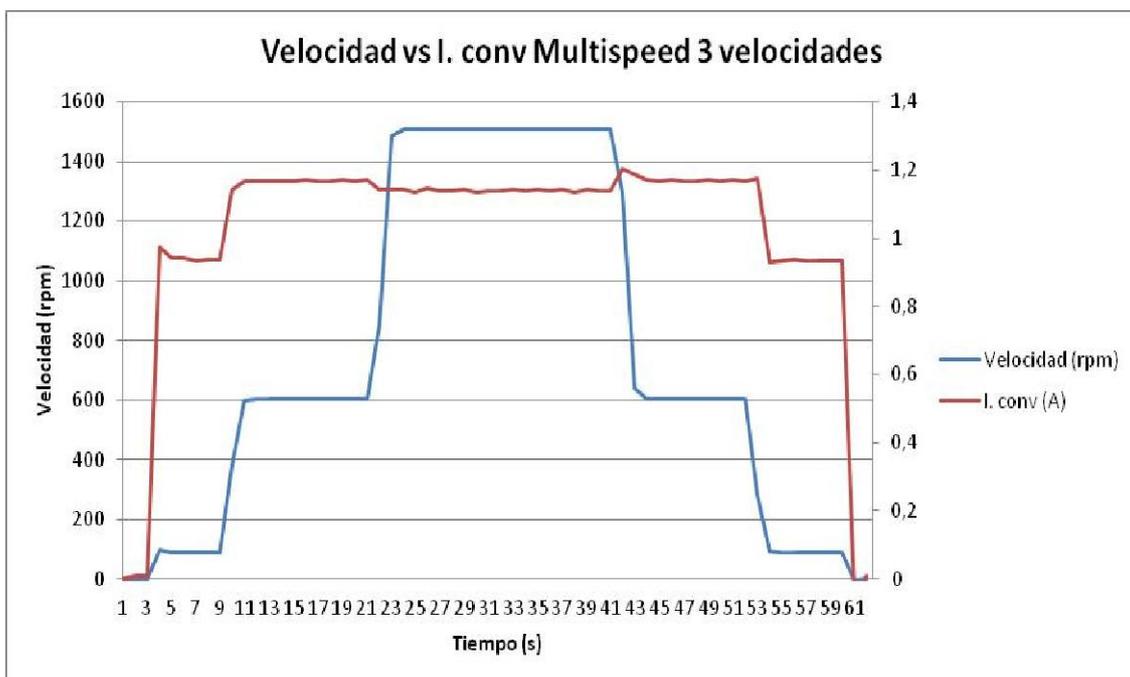


Figura 99 Velocidad vs I. conv 3 velocidades

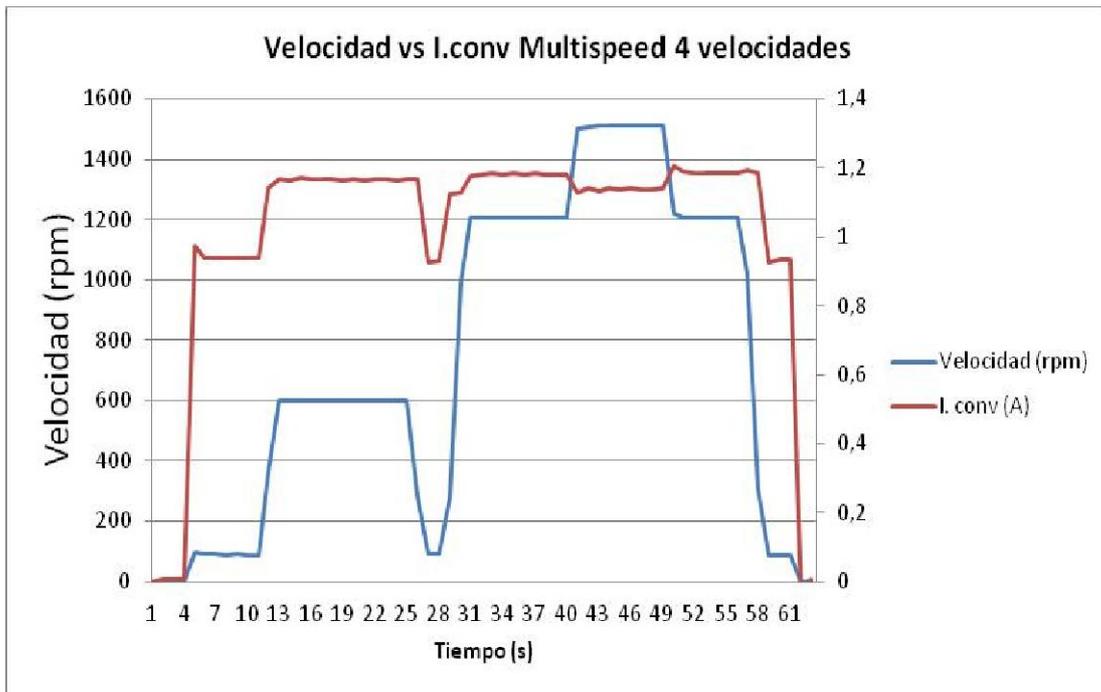


Figura 100 Velocidad vs I.conv 4 velocidades

Se puede observar tanto en el cambio de 3 velocidades como en el de 4 velocidades al producirse la transición de una velocidad a otra, se vuelve a ejecutar el control v/f con la rampa de aceleración programada (en este caso 3 s), produciéndose de nuevo el ajuste de la corriente del convertidor. Aunque gráficamente se observe que la corriente del convertidor disminuye a la velocidad de 1500 rpm, realmente es debido a una diferencia del orden de 10 mA en la lectura de dicho parámetro.

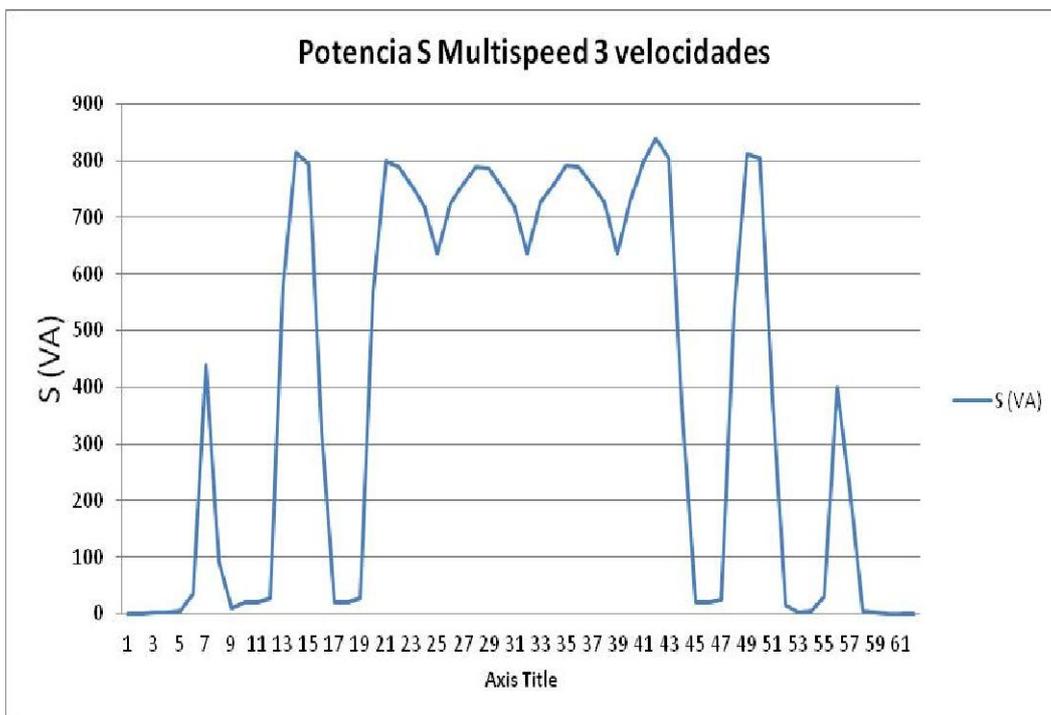


Figura 101 Potencia S 3 velocidades

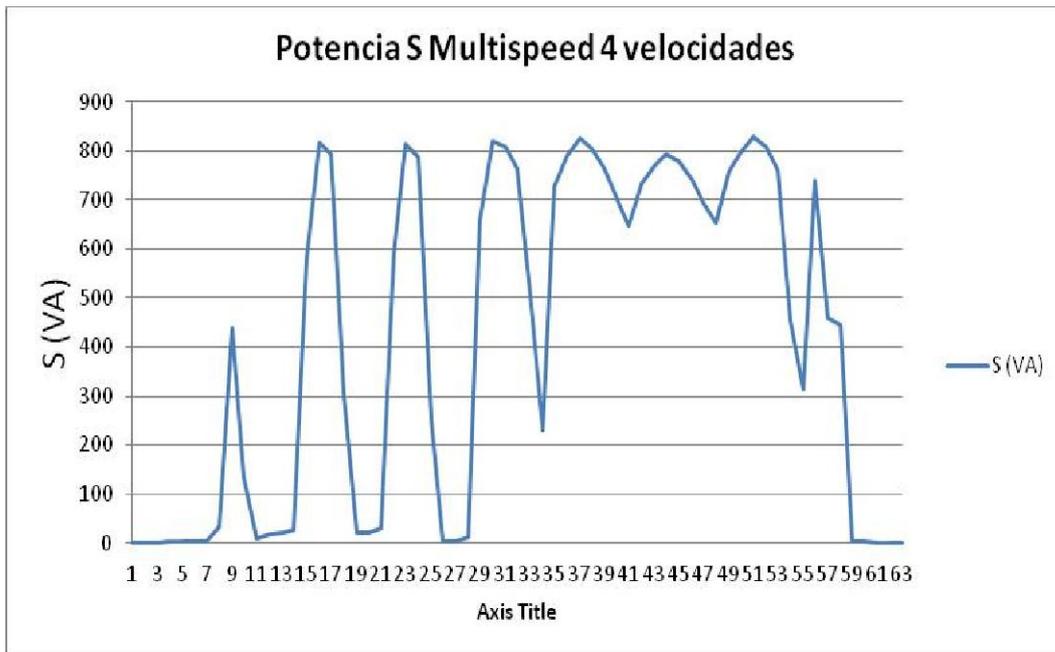


Figura 102 Potencia S 4 velocidades

En este caso se observa que la evolución de la potencia aparente tiene una evolución anormal, pero esto es debido a varios aspectos: cuando se produce el cambio de velocidad se produce el reajuste de la tensión del motor, produciéndose una disminución de la misma hasta posteriormente alcanzar el valor óptimo para la consigna de velocidad establecida; otro factor que influye en la evolución de la potencia aparente es debido a la manera de transformar los datos tomados al archivo Excel, ya que en dicha operación no se tienen todos los datos tomados por la DAQ; por lo tanto aunque el valor de dicha potencia es normal y correcto, gráficamente puede parecer lo contrario.

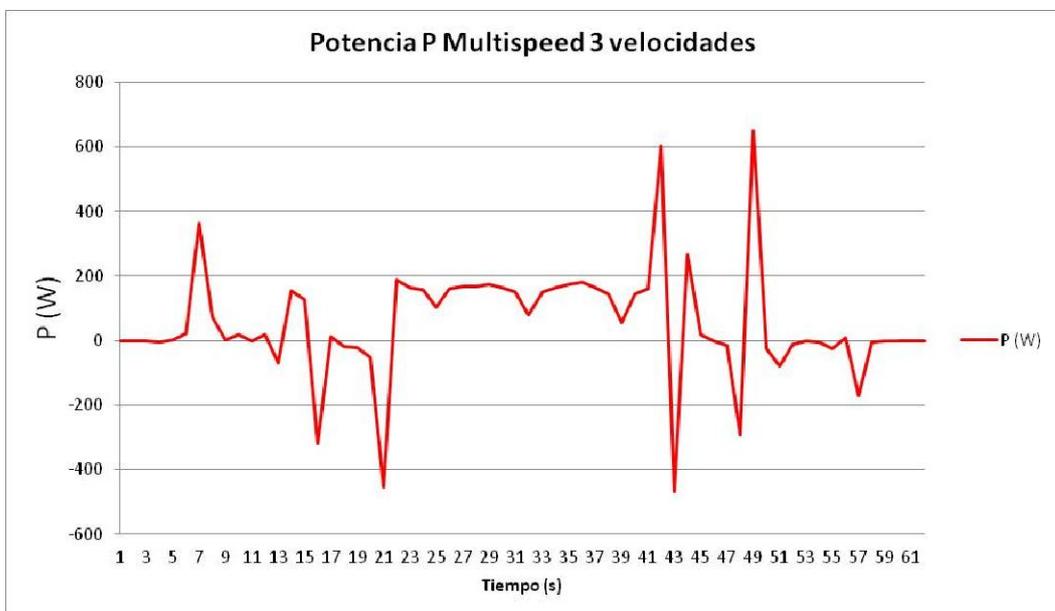


Figura 103 Potencia P 3 velocidades

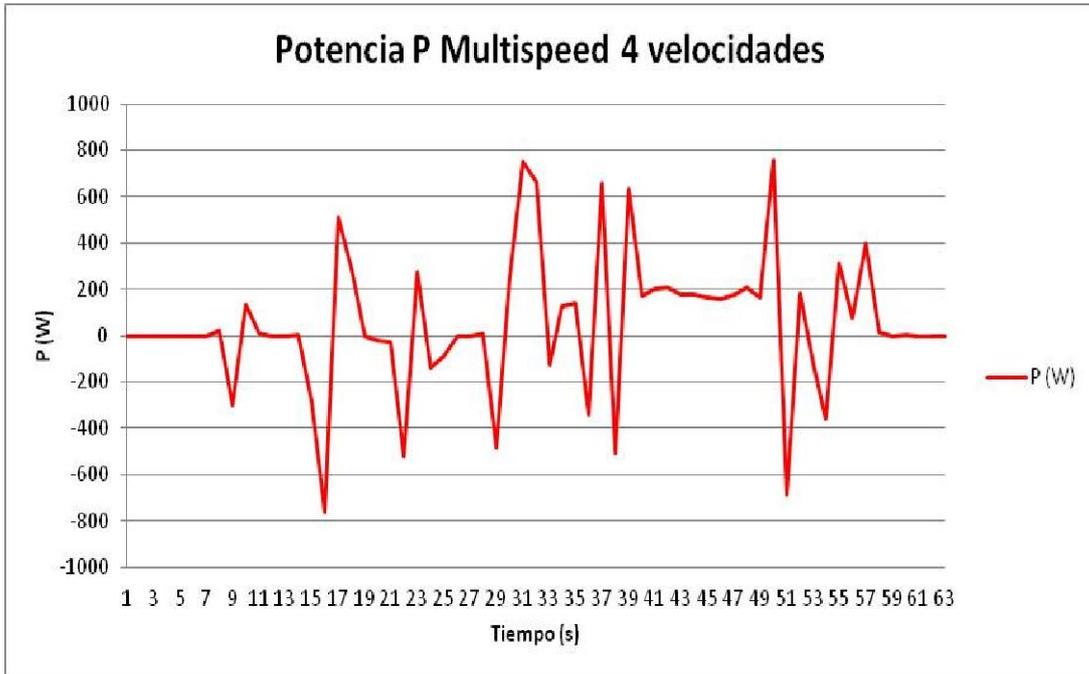


Figura 104 Potencia P 4 velocidades

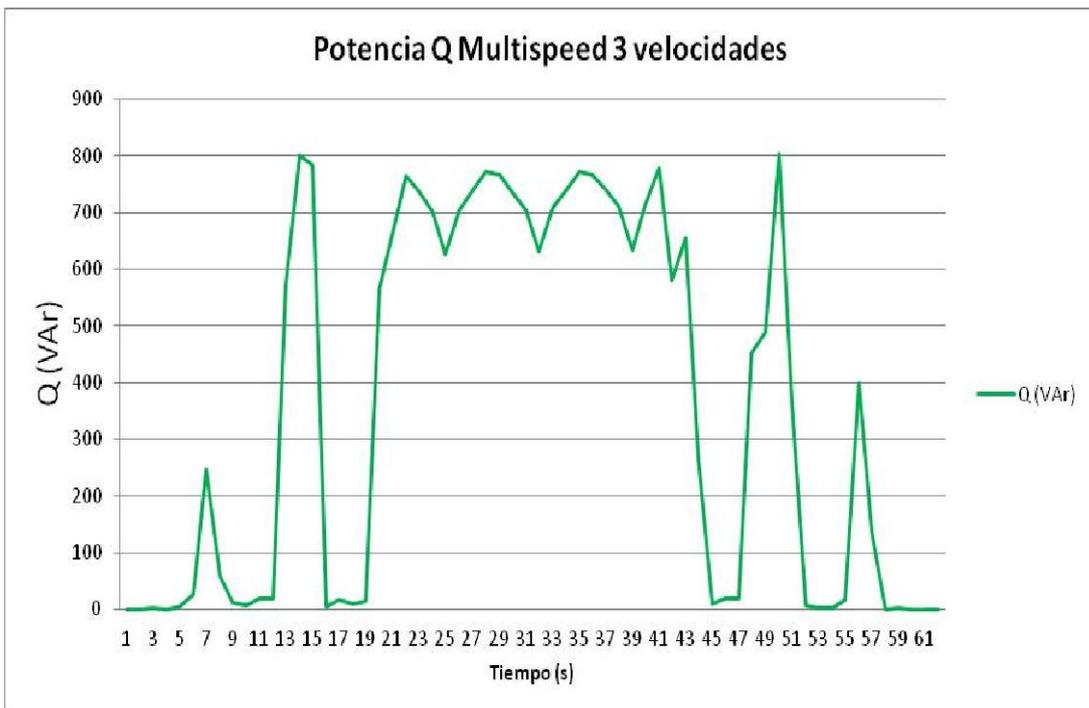


Figura 105 Potencia Q 3 velocidades

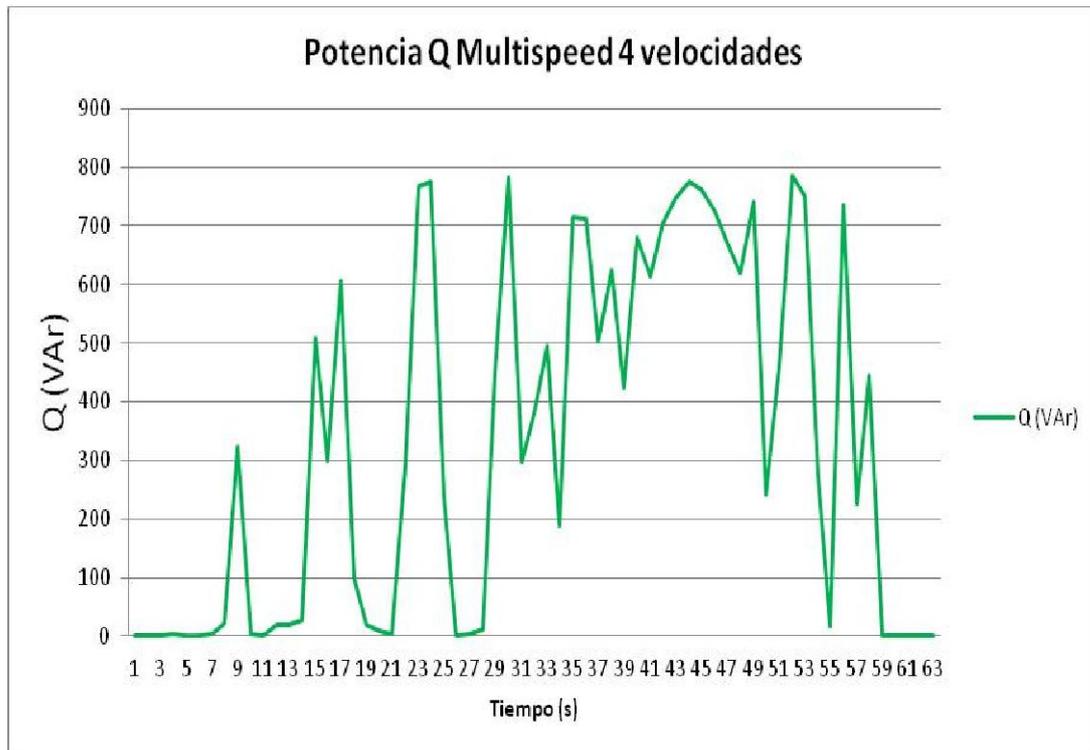


Figura 106 Potencia Q 4 velocidades

Un efecto similar se produce en el caso de la muestra de la evolución de la potencia activa, debido a la dificultad de registrar todos los datos y la evolución de la tensión del motor, tanto en este caso como en el caso de la potencia aparente Q habrá que tener en cuenta que el valor del ángulo ϕ del motor tiene gran importancia, debido a que a la hora de realizar su cálculo, este valor viene influenciado por el filtrado realizado a las medidas de tensión y corriente del motor tomadas, además de los errores asociados a los aparatos de medida y la propia DAQ a la hora de tomar los datos.

Cuando se filtran las tensiones y corrientes a bajas frecuencias de muestreo ($500 \text{ Hz} < f_{\text{muestreo}}$) se producen dos fenómenos: uno el desplazamiento de fase del ángulo ϕ y otro es que debido al filtrado realizado se están eliminando valores de tensión que se registran a altas frecuencias, en consecuencia se reduce el valor de tensión del motor.

Cuando se filtran tensiones y corrientes a altas frecuencias de muestreo ($1500 \text{ Hz} < f_{\text{muestreo}}$) resulta muy dificultoso el cálculo del ángulo ϕ debido a la distorsión de la onda de tensión pero por el contrario se tienen valores de tensión más próximos a la tensión real de alimentación del motor.

Este es el motivo por el que aparecen oscilaciones en los valores de potencia S y Q donde esas oscilaciones tienen un efecto mayor.

CAPÍTULO 6 Presupuesto

Los precios mostrados en este apartado han sido obtenidos directamente de los fabricantes y distribuidores de equipos, así como del precio real de compra. La memoria con el presupuesto total del proyecto corresponde al mostrado en la Tabla 22.

6.1. Costes convertidor de frecuencia

	Precio Unidad (€)	Cantidad (Uds)	Precio Total (€)
1.Convertidor de frecuencia CFW-11	1.040	1	1.040
TOTAL			1.040

Tabla 17 Costes convertidor de frecuencia

6.2 Constes motor Weg Quattro

	Precio Unidad (€)	Cantidad (Uds)	Precio Total (€)
2. Motor Weg Quattro 0.75 kW	329	1	329
TOTAL			329

Tabla 18 Costes motor Weg Quattro

6.3 Costes Labview

	Precio Unidad (€)	Cantidad (Uds)	Precio Total (€)
3.1 Software Labview	1.030	1	1.030
3.2 Tarjeta DAQ NI 6009	293,4	1	293,4
TOTAL			1313.4

Tabla 19 Costes Labview

6.4 Costes circuito maniobra

	Precio Unidad (€)	Cantidad (Uds)	Precio Total (€)
4.1 Convertidor DC/DC TME 2405	6,2865	2	12,57
4.2 Circuito Integrado CD4504B	0,3367	6	2,02
4.3 Cable (uds en metros)	0,14	10	1,4
4.4 Conectores para placa Board	0,82	1	0,82
TOTAL			16,81

Tabla 20 Costes circuito de maniobra

6.5 Costes mano de obra

Para el cálculo de horas empleadas se ha supuesto que se han empleado un total de 20 horas semanales, en un total de 36 semanas (9 meses aproximadamente). Y con un coste por hora calculado de acuerdo con el sueldo para ingenieros titulados según el Convenio del Metal de la Comunidad de Madrid.[10]

	Precio Unidad (€/h)	Cantidad (h)	Precio Total (€)
5 Mano de Obra	8.58	720	6181,2
TOTAL			6181,2

Tabla 21 Costes mano de obra

6.6 Coste total

	Precio Total (€)
1.Convertidor de frecuencia CFW-11	1.040
2.Motor Weg Quattro 0.75 kW	329
3.Labview	1.313
4.Sistema de maniobra	16
5 Mano de Obra	6.181
TOTAL	8.879

Tabla 22 Coste Total

CAPÍTULO 7 Conclusiones

Como objetivo del proyecto principal del proyecto se ha desarrollado un sistema que permite conocer en tiempo real estado y funcionamiento de la máquina eléctrica con la que se esté trabajando. Aunque para ello se han cumplido varios objetivos asociados al desarrollo del proyecto los cuales se enumeran a continuación.

Programación y parametrización del convertidor de frecuencia.

El convertidor de frecuencia es uno de los elementos más importantes dentro del sistema, debido a que actuaba directamente sobre el motor, y sirve como elemento intermedio entre la tarjeta de adquisición de datos y el motor, pudiendo a su vez considerarse como actuador ya que funciona como relé del sistema de maniobra, a la vez que permite al usuario establecer las condiciones óptimas y de seguridad para el funcionamiento del motor y del sistema.

En lo referente a su funcionalidad en el sistema, hay que tener en cuenta que es un factor limitante a la hora de poder tener mayor número de operaciones a realizar y variables a estudiar dependiendo de las prestaciones que pueda ofrecer.

La introducción de este dispositivo para la realización del sistema ha permitido mejorar y ampliar los conocimientos sobre el uso de estos equipos y su comportamiento en servicio.

Tarjeta de adquisición de datos.

Este dispositivo al igual que el convertidor de frecuencia ha tenido una función clave a la hora del diseño del sistema, además es un elemento determinante debido a que es el encargado de adquirir y transferir las señales recibidas, procesar los datos y coordinar las instrucciones recibidas a través del software asociado.

Su comportamiento a la hora de trabajar en el sistema de monitorización ha sido el óptimo y el esperado para el tipo de aplicación y medios de los que se dispone, siendo totalmente acertada su elección.

Su configuración y puesta en marcha en el sistema han permitido conocer y desarrollar conocimientos a cerca de cómo se trabaja con procesamiento de datos y tratamiento de señales.

Circuito de maniobra.

Ha sido el elemento que ha permitido la interacción entre la tarjeta de adquisición de datos y el convertidor, a priori, es un elemento que puede parecer no muy importante pero su correcto diseño e implantación son vitales para que se puedan ordenar y coordinar las señales que gobiernen el convertidor y por ende al motor.

Su diseño y montaje ha sido posible gracias a conocimientos adquiridos previamente en la titulación, por lo que se han puesto en práctica conocimientos que se podrían considerar ajenos al proyecto.

Software Labview.

Es la parte más visible del sistema, la que permitirá directamente al usuario interactuar con los elementos que lo forman.

Labview es un excelente entorno para realizar el diseño de sistemas de este tipo debido a que su entorno gráfico e intuitivo permite al usuario comandar y visionar las variables que considere necesarias sin necesidad de tener unos conocimientos técnicos muy avanzados y además facilitar la operación y funcionamiento de manera óptima y segura.

La programación en un entorno gráfico permite afianzar conocimientos anteriores de programación además de obtener otras alternativas a la hora de diseñar y pensar aplicaciones se puedan realizar en entornos industriales.

BIBLIOGRAFIA:

- [1] Convertidor de Frecuencia.CFW11 V3.1X. Manual de Programación. WEG (2011)
- [2] Convertidor de Frecuencia. Catálogo CFW11. WEG (2011)
- [3] Guía del Usuario Convertidor de Frecuencia. Documento10000063156. WEG
- [4] Apuntes Accionamientos Eléctricos 2011-2012 Universidad Carlos III de Madrid.
- [5] Control of Electrical Drives.3rd Edition. Werner Leonhard
- [6] Traco Power DC/DC Converter.www.DataSheetCatalog.com
- [7] CMOS Hex Voltage-Level Shifter for TTL to CMOS or CMOS to CMOS Operation.www.ti.com
- [8] NI User Guide and Specifications 6009.National Instruments. (2004-2006)
- [9] Labview Quick Reference Card. National Instruments.
- [10] BCM. Boletín Oficial de la Comunidad de Madrid Num.95