



Escuela Universitaria  
Ingeniería Técnica Industrial  
UNIVERSIDAD DE ZARAGOZA

**PROYECTO FIN DE CARRERA**

Actualización del sistema de control de un aerogenerador de 30kW

**AUTOR**

José Alberto Martínez Tremps

**DIRECTOR**

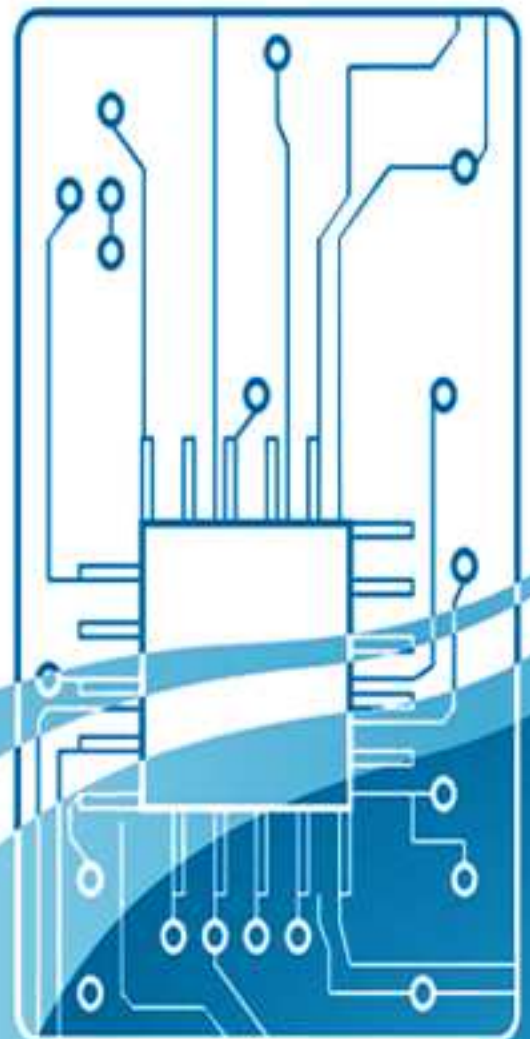
José Francisco Sanz Osorio

**ESPECIALIDAD**

Electrónica

**CONVOCATORIA**

Septiembre 2012



## 0 INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

---

0.1 INTRODUCCIÓN

0.2 OBJETIVOS

## 1 ANTECEDENTES

---

1.1 LA ANTIGUA INSTALACIÓN

1.2 DESCRIPCIÓN

1.2.1 MODO DE FUNCIONAMIENTO

1.2.2 CONVERTOR DE POTENCIA

1.2.3 ARRANCADOR

1.2.4 LÓGICA DE CONTROL

1.3 PIEZAS REUTILIZADAS

1.3.1 TORRE

1.3.2 GÓNDOLA

1.3.3 PALAS

1.3.4 GENERADORES

1.3.5 MULTIPLICADORA

1.3.6 FRENO

1.3.7 EJES MECÁNICOS Y DISTRIBUCIÓN

1.4 LA EMPRESA SOLICITANTE

1.4.1 CONDICIONES

1.5 CREACIÓN DEL ALUMNO

2.1 INTRODUCCIÓN

2.2 DESCRIPCIÓN DEL AUTOMATA

2.2.1 ELEMENTOS DE COMUNICACIÓN

2.2.2 MEMORIA

2.2.3 ALIMENTACIÓN

2.2.4 MÓDULOS I/O

2.2.4.1 E/S DIGITALES

2.2.4.2 E/S ANALÓGICAS

2.2.5 COMUNICACIÓN

2.3 PERIFÉRICOS

2.3.1 SENSORES

2.3.1.1 CONDICIONES EXTERNAS

2.3.1.1.1 ANEMÓMETRO

2.3.1.1.2 VELETA

2.3.1.2 VARIABLES DE PROCESO

2.3.1.2.1 DÍNAMO

2.3.1.2.2 TRANSFORMADORES DE INTENSIDAD

2.3.1.3 CONDICIONANTES DE ALARMA

2.3.1.3.1 TERMOPARES

2.3.1.3.2 SENSOR DE VIBRACIÓN

2.3.2 SERVOCONTROLADOR

2.3.3 TRANSMISIÓN DE SEÑALES Y ALIMENTACIONES

2.3.3.1 DIGITALES

2.3.3.2 SENSORES

2.3.3.3 ALIMENTACIÓN DE POTENCIA

2.3.3.4 ALIMENTACIÓN DE SENSORES

2.3.3.5 MOTOR SERVO

2.3.3.6 PROTECCIÓN FRENTE A TORSIÓN DE CABLES

2.3.4 INTERFACE HOMBRE-MÁQUINA

2.3.4.1 PANEL DE MANDO

## 3 SOFTWARE

---

### 3.1 UNITY PRO

### 3.2 ENTORNO

#### 3.2.1 MENÚ ESPECIALES

#### 3.2.2 BARRA DE ESTADO

#### 3.2.3 ZONA DE TRABAJO

#### 3.2.4 EXPLORADOR DE PROYECTOS

### 3.3 ESTRUCTURA

#### 3.3.1 CONFIGURACIÓN HARDWARE

#### 3.3.2 PROGRAMA

##### 3.3.2.1 MÉTODOS DE CREACIÓN DE PROGRAMA

1. LISTA DE INSTRUCCIONES
2. TEXTO ESTRUTURADO
3. DIAGRAMA DE CONTACTOS (LD, Ladder Diagram)
4. DIAGRAMA DE BLOQUES DE FUNCIÓN (FDB, Function Block Diagram)
5. LENGUAJE DE FUNCION SECUENCIAL

##### 3.3.2.2 TIPOS DE TAREA

1. MAST
2. FAST
3. AUXILIAR
4. PROCESAMIENTO DE EVENTOS

##### 3.3.2.3 DATOS DEL PROGRAMA

##### 3.3.2.4 COMUNICACIÓN

##### 3.3.2.5 MOVIMIENTO

##### 3.3.2.6 PANTALLAS DE OPERADOR

##### 3.3.2.7 TABLAS DE ANIMACIÓN

##### 3.3.2.8 DOCUMENTACIÓN



## 4 PROGRAMA DE CONTROL

---

### 4.1 DESCRIPCIÓN GENERAL

#### 4.1.1 SET UP

### 4.2 MODOS DE OPERACIÓN

#### 4.2.1 MODO PARO

#### 4.2.2 MODO AUTOMÁTICO

##### 4.2.2.1 FUNCIONAMIENTO NATURAL

##### 4.2.2.2 FUNCIONAMIENTO ANÓMALO

##### 4.2.2.3 ORIENTACIÓN AUTOMÁTICA

#### 4.2.3 MODO MANUAL

#### 4.2.4 MODO SIMULACIÓN

### 4.3 LISTADO DE VARIABLES

#### 4.3.1 PUERTOS

#### 4.3.2 INTERNAS

### 4.4 ACCIONES DE PROGRAMA

#### 4.4.1 REVISIÓN DE VARIABLES

#### 4.4.2 ACCIONES DE PROCESO

#### 4.4.3 TRANSICIONES

#### 4.4.4 EVENTOS DE TEMPORIZADOR

#### 4.4.5 BLOQUES CREADOS

### 4.5 ALARMAS

#### 4.5.1 ALARMAS DE NO-ENCLAVAMIENTO

##### 4.5.1.1 ALARMA DE VIENTO EXCESIVO

##### 4.5.1.2 ALARMA DE VELOCIDAD DEL ROTOR EXCESIVA

##### 4.5.1.3 ALARMA DE TEMPERATURA G1

##### 4.5.1.4 ALARMA DE TEMPERATURA G2

#### 4.5.2 ALARMAS DE NO-ENCLAVAMIENTO

##### 4.5.2.1 ALARMA DE FALLO DE CIRCUITO

##### 4.5.2.2 ALARMA DE VIBRACIÓN

##### 4.5.2.3 ALARMA DE EJE OBSTRUIDO

##### 4.5.2.4 ALARMA DE FALLO DEL ARRANCADOR

##### 4.5.2.5 ALARMA DE FALLO DE FRENO

##### 4.5.2.6 ALARMA DE FALLO DE ORIENTACIÓN

##### 4.5.2.7 ALARMA DE FALLO DE MODULOS

#### 4.5.3 ALARMA MANUAL

### 4.6 PANTALLAS DE OPERADOR

#### 4.6.1 MANDO

#### 4.6.2 VARIABLES

#### 4.6.3 ALARMAS

#### 4.6.4 SUPERVISIÓN

### 4.7 TABLAS DE ANIMACIÓN

#### 4.7.1 PRESENTACIÓN

#### 4.7.2 ALARMAS

#### 4.7.3 ERRORES

#### 4.7.4 MÓDULOS

## 5 DOCUMENTACIÓN

---

- 5.1 CALCULOS JUSTIFICATIVOS
  - 5.1.1 CORRIENTES
  - 5.1.2 CONVERSIONES DE DATOS PARA EL PROGRAMA
  
- 5.2 PLANOS
  - 5.2.1 VISTA FUNCIONAL GENERAL
  - 5.2.2 DISPOSICIÓN GENERAL
  - 5.2.3 AUTÓMATA
  - 5.2.4 VISION MANDO DE CONTROL
  - 5.2.5 CONEXIONES
    - 5.2.5.1 MÓDULO DIGITAL
    - 5.2.5.2 MÓDULO ANALÓGICO 0810
    - 5.2.5.3 MÓDULO ANALÓGICO 0410
    - 5.2.5.4 LEXIUM
    - 5.2.5.5 ALIMENTACIONES
    - 5.2.5.6 MANDO DE CONTROL
    - 5.2.5.7 ANEMOMETRO
    - 5.2.5.8 VELETA
    - 5.2.5.9 DÍNAMO
    - 5.2.5.10 SENSOR DE VIBRACIÓN
    - 5.2.5.11 TRAFOS I
    - 5.2.5.12 TERMPOARES
    - 5.2.5.13 FRENO
  
- 5.3 DIAGRAMAS DE FLUJO
  - 5.3.1 FLUJO GENERAL
  - 5.3.2 FLUJO AUTO
  - 5.3.3 FLUJO MANUAL
  - 5.3.4 REVISIÓN VIENTO
  - 5.3.5 REVISIÓN ROTOR
  - 5.3.6 REVISIÓN ARRANQUE
  - 5.3.7 REVISIÓN INTENSIDAD
  - 5.3.8 REVISIÓN TEMPERATURA Y VIBRACIÓN
  - 5.3.9 REVISIÓN FRENADO
  - 5.3.10 REVISIÓN ORIENTACION AUTOMÁTICA
  - 5.3.11 REVISIÓN ORIENTACIÓN EMERGENCIA

# PRÓLOGO

0 INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

---

0.1 INTRODUCCIÓN

1

0.2 OBJETIVOS

3

## 0 INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

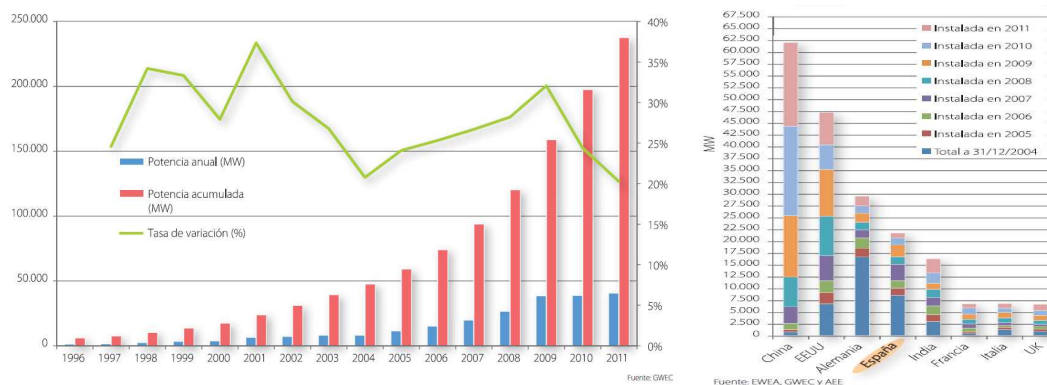
En el presente proyecto se va a realizar una propuesta de ACTUALIZACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL DE UN AEROGENERADOR DE 30KW para la superación de los créditos de proyecto fin de carrera de Ingeniería Técnica Industrial especialidad Electrónica en el área de control de máquinas eléctricas y en base a la demanda de este trabajo por parte de la empresa G.P.S. (General Power Services), ambas partes implicadas en la realización y perfilación final.

La empresa en concreto solicita:

*El desarrollo teórico de un nuevo sistema de control adecuado a las opciones tecnológicas actuales para supervisar la acción generadora de un modelo obsoleto llamado PEUI 10 de 30kW del que se mantienen varias partes mecánicas, con la premisa de conexión directa y arrancador suave, y sin atender a las decisiones del área de potencia que se realizan en la propia empresa por medio de otro proyecto fin de carrera.*

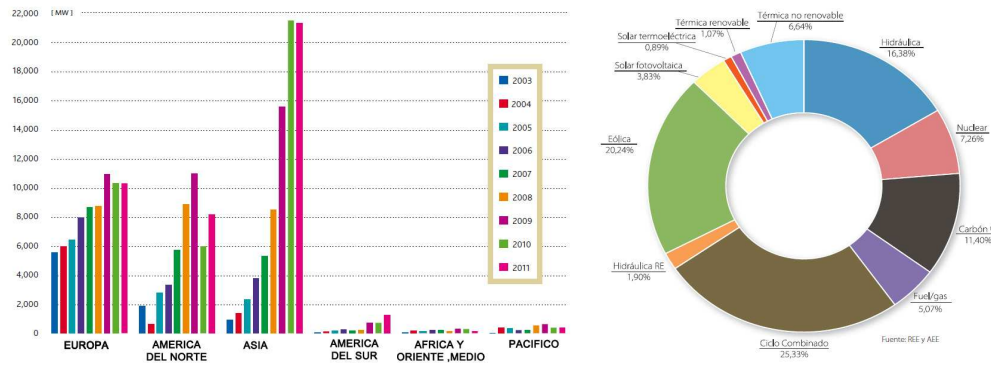
### 0.1 INTRODUCCIÓN

En las últimas dos décadas se ha dado un avance espectacular en todos los aspectos de la ciencia y la tecnología, llegando por supuesto a la rama de la generación de energía y más concretamente a las energías renovables, que como consecuencia de las subidas de los precios de las materia primas y en previsión de la escasez de recursos y el almacenamiento de residuos, se encuentran en un auge superior al de cualquier tecnología de generación. Solo hay que ver las comparativas de instalación entre los tipos de obtención de energías en los países con más requerimientos de esta, como son China, EE.UU., Alemania, España, Francia y UK, y que por lo tanto son modelos a seguir por el resto de países desarrollados y en vías de desarrollo.



Izq. Gráfica de evolución de la potencia instalada, acumulada y tasa de variación a nivel mundial

Der. Gráfica de instalación anual por países y años



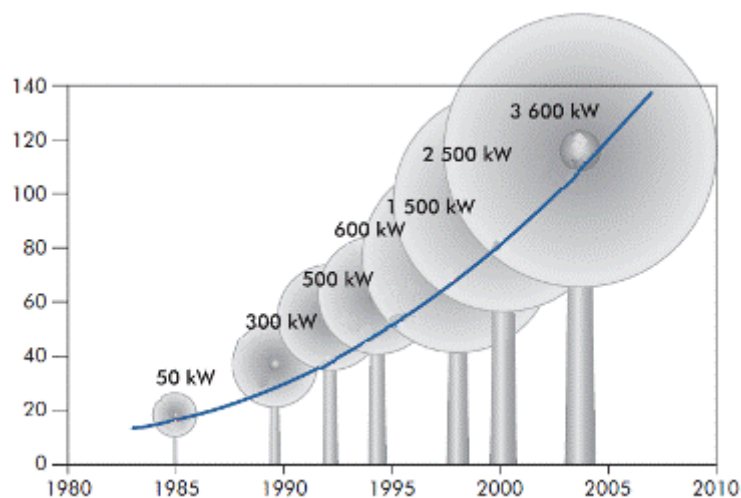
Izq. Grafica de la evolución de la potencia instalada acumulada mundial por continentes

Der. Grafica de de distribución de la energía en España en 2011

Si observamos estos gráficos rápidamente se llega a la conclusión de que es un tipo de energía que se sigue desarrollando cada vez más puesto que se invierte mucho capital en la instalación de nuevas explotaciones eólicas, por tanto, se invierte también mucho en su desarrollo tecnológico para ofrecer cada vez mayores prestaciones, sino a menor precio, al menos manteniéndolo para mejores prestaciones.

En ese aspecto trabaja fundamentalmente el presente proyecto, puesto que por medio de los modernos sistemas de control hardware y su alta capacidad de cómputo en las acciones internas y externas respaldadas por amplio abanico de funcionalidades software que las gestionan se pueden desarrollar instalaciones con un alto rendimiento y eficiencia.

La modernización de estas instalaciones hace aumentar al mismo tiempo el tamaño de los aerogeneradores, tanto que en España en los años 80 se instalaban máquinas de algunos kilovatios o decenas de ellos mientras que ahora se desarrollan gigantes de varios megavatios en grandes parques eólicos, que conllevan una gran generación y que plantea algunos inconvenientes. Por ello se esta lanzando un mercado de baja y media potencia en zonas alejadas de estos parques para lo que se conoce como *generación distribuida* que es el ámbito en el que se mueve este proyecto.



Gráfica de crecimiento de potencia de los aerogeneradores

---

A la par de todo este avance también lo hacen las normativas de diseño y enganche a la red, bien de distribución o de transporte, puesto que cada vez se lanzan más modelos de aerogeneradores con características diferentes y potencias mayores que pueden generar inestabilidades en las redes debido a los componentes utilizados y cuya regulación es del todo necesaria en vistas a la calidad del uso de la energía. En este aspecto cada cierto tiempo se emiten nuevas normas que aumentan los requisitos de enganche, tales como el procedimiento de operación para la conexión al sistema PO 12 que es básico para la ubicación del producto desarrollado en este proyecto, puesto que en España no se puede conectar a la red equipos de generación que no tengan control energía reactiva, por lo tanto y aunque no es un aspecto primario en la realización del presente proyecto, se restringe la ubicación a mercados energéticos en vías de desarrollo como por ejemplo, el sudamericano.

## 0.2 OBJETIVOS

Según el enunciado inicial y los requerimientos de la empresa, en este proyecto se va a realizar de manera teórica un sistema de supervisión para el control de un aerogenerador de 30Kw, diseñado y puesto en funcionamiento en la década de los 80 y del que la empresa dispone de varias partes mecánicas como son las máquinas de 7,5Kw y 30Kw, la góndola, los ejes, el buje, las palas, la multiplicadora y sus transmisores y el electro-freno.

La empresa ha decidido, por sus propios medios, la utilización del método de conexión directa y arrancador suave, que condiciona por completo el desarrollo del presente proyecto. Además se hace cargo del diseño de los circuitos de potencia en aspectos como las protecciones y los dispositivos de compensación necesarios con respecto a la normativa vigente, dejando claramente delimitado el ámbito del diseño de este sistema por parte del alumno.

Se requiere pues, un sistema moderno y eficaz, que este adecuado a las nuevas tecnologías de funcionalidad y supervisión así como a las piezas reutilizadas de la antigua instalación, además del desarrollo del propio programa de control indispensable para la acción supervisora. Todo esto conlleva la elección de los dispositivos adecuados para el procesamiento, manejo y revisión de la instalación, tales como autómatas, módulos de adquisición y sensores, siempre en relación a la parte de control aunque pudiéndose hacer especificaciones necesarias para la parte de potencia.

En esta tarea se han diferenciado 5 secciones de trabajo, que representan los 5 capítulos existentes.

1. Estudio de la antigua instalación por medio del manual de operario disponible por la empresa y análisis de las propias piezas almacenadas.
2. Elección de los componentes de control necesarios.
3. Estudio del software pertinente para el desarrollo de la aplicación.
4. Generación del programa de control.
5. Documentación y ejecución del documento proyecto.

# 1. Antecedentes



## 1 ANTECEDENTES

---

1.1	LA ANTIGUA INSTALACIÓN	1
1.2	DESCRIPCIÓN	1
1.2.1	MODO DE FUNCIONAMIENTO	1
1.2.2	LÓGICA DE CONTROL	2
1.2.3	CONVERSOR DE POTENCIA	2
1.2.4	ARRANCADOR	3
1.3	PIEZAS REUTILIZADAS	3
1.3.1	TORRE	3
1.3.2	GÓNDOLA	3
1.3.3	PALAS	3
1.3.4	GENERADORES	3
1.3.5	MULTIPLICADORA	3
1.3.6	ELECTRO-FRENO	3
1.3.7	EJES MECÁNICOS Y DISTRIBUCIÓN	3
1.4	LA EMPRESA SOLICITANTE	4
1.4.1	CONDICIONES	4
1.5	CREACIÓN DEL ALUMNO	4

# 1 ANTECEDENTES

---

En este capítulo se van a abordar las condiciones iniciales de la realización del proyecto en cuanto al sistema aerogenerador y las premisas técnicas establecidas por la empresa.

## 1.1 LA ANTIGUA INSTALACIÓN

El modelo PEUI 10 es un aerogenerador de eje horizontal a barlovento de velocidad fija, puesto que siempre trabaja en un rango relativamente cercano, con control de potencia por pérdida aerodinámica y que en complemento posee una dos niveles de generación a través de dos máquinas trifásicas de inducción de rotor jaula de ardilla cuya potencia nominal de 7,5kW y 30kW proveyendo al sistema de dos escalas de generación y por tanto de dos niveles de viento necesarios para la producción.

Se diseñaron por parte del grupo ENDESA en la década de los 80, cuando toda la tecnología y sistemática de aerogeneradores estaba aun por lanzar siendo su potencia adecuada a la época, para diferentes destinos del territorio español. En concreto, 12 fueron destinados al parque eólico de la muela resultando en una potencia de 360kW, que es de donde proceden las piezas reutilizadas del proyecto. Tras casi dos décadas de funcionamiento, estos generadores se quedaron obsoletos en tecnología tanto en nivel de potencia como en eficiencia además de su desgaste propio por el paso de los años.

La empresa G.P.S. encargada del mantenimiento de numerosos aerogeneradores compró estos modelos con vistas a su modernización en el mercado de la generación distribuida, haciendo uso de sus conocimientos en la materia y observando la dirección del mercado con el propósito de crear una inversión de futuro en este campo.

## 1.2 DESCRIPCIÓN

En este apartado se realiza un resumen de las características más importantes del sistema PEUI 10, cuyo método de comprensión viene desarrollado por la disposición del manual de operación y mantenimiento, adquirido por la empresa GPS y cedido para el propósito del proyecto.

### 1.2.1 MODO DE FUNCIONAMIENTO

El modelo PEUI 10, como ya se ha comentado, es un aerogenerador de velocidad fija con dos niveles de generación, palas de paso fijo con control de potencia en pérdida aerodinámica y un valor nominal de 30kW, que se conecta de manera directa a la red una vez realizado el arranque de tipo reactancias saturables.

Disponía de dos modos fundamentales de orientación, el automático para la tarea principal de generación y autogobierno de la conexión de una máquina u otra, y el manual que se utilizaba para las tareas propias de revisión y mantenimiento, estando deshabilitadas las funciones de generación y movimiento.

Para su manejo se disponía de un panel de control desde el cual se podían manejar los diferentes modos, mover la góndola en ambos sentidos, dar la alarma manual y borrar las existentes. Además lo complementaban elementos de visualización, tanto para alarma como para la posición central de la góndola y un medidor de viento analógico de aguja.

A continuación se detallan los principales elementos característicos del PEUI 10.

### 1.2.2 LÓGICA DE CONTROL

Adecuado a su época, el PEUI-10 estaba gobernado por un sistema de relés, temporizadores, comparadores de nivel y contactores que realizaban toda la tarea de mando de la instalación estando dividido en tres secciones:

Circuito de señales de control, era el encargado de conducir las señales eléctricas procedentes de los sensores pertinentes al sistema central para su procesado y respuesta de los mecanismos de acción.

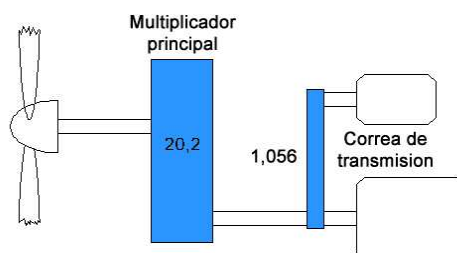
Circuito de señales de alarma, recogía el estado de los sensores en las situaciones anómalas y que en caso de existirlas actuar con prioridad sobre cualquier otra función del sistema de control.

Por último el circuito de acciones de control, tenía la misión de transmitir las señales eléctricas de ejecución que recibía del sistema central de control.

### 1.2.3 CONVERTOR DE POTENCIA

El sistema gobierna dos motores de inducción con rotor jaula de ardilla de 7,5kW y 30kW ambos de 1500rpm, cuyos estatores son conectados a la red de forma directa para realizar la generación, y cuya velocidad viene marcada por el viento, los multiplicadores y en última instancia como limitador de la potencia, las palas con pérdida aerodinámica.

No se dispone de control de pitch o ángulo de ataque, para paliar este control de la conversión de potencia y ser capaz de generar eficientemente a menor velocidad, se instalan los dos niveles de generación, que mediante un sistema de correa de transmisión con una pequeña diferencia de radios genera dos velocidades de sincronismo (1418rpm para el de 7,5kW y 1500rpm para el de 30kW) y por tanto dos escalones de trabajo que mejoran considerablemente la estadística de horas de producción.



Esquema funcional de los multiplicadores

---

#### **1.2.4 ARRANCADOR**

En esta instalación se usaba el método de reactancias saturables para el arranque de las máquinas, que reduce las tensiones del motor y las corrientes iniciales de la conexión para proteger los devanados y los cambios bruscos de par en el buje y las palas, yendo aumentando paulatinamente estos niveles y cortocircuitándose al llegar a la velocidad de sincronismo.

Este sistema entraba en acción tras la subida de velocidad del rotor por encima de un nivel próximo a las velocidades de sincronismo, realizando el arranque de conexión a la red para ambos generadores.

#### **1.2.5 ORIENTACIÓN**

El aerogenerador dispone de dos sistemas de orientación, uno automático y otro manual, para la realización de los propósitos de generación y mantenimiento respectivamente, compartiendo un motor trifásico de 1400kW y un reductor que por medio de un sistema servo ejecutan los movimientos necesarios.

El sistema de orientación automática usaba el sensor veleta para detectar cuando la góndola estaba desorientada con respecto a la dirección del viento indicándole al sistema central que debía moverse en una u otra dirección, activando el motor de orientación. Esto generaba un número muy amplio de movimientos en cualquier dirección, pudiendo afectar a los cables de conexión. Para ello el sistema incorporaba un detector de 5 vueltas en ambas direcciones a través de un tornillo y unos detectores fin de carrera, que al llegar a los extremos hacían volver a la góndola al punto central.

Para el control en modo manual, se disponía de dos botones de dirección situados en el panel de control que conectaban de manera directa el motor de orientación para el movimiento en un sentido u otro.

### **1.3 PIEZAS REUTILIZADAS**

En la actualización de PEUI 10 se van a mantener varios de los componentes mecánicos que la antigua instalación incluía, puesto que se encuentran en buenas condiciones tras su revisión y puesta a punto, lo que crea un esqueleto inicial y reduce el coste de la re inserción del modelo en el mercado.

A continuación se detallan las piezas que se van a instalar:

#### **1.3.1 TORRE**

Elemento en 2 tramos y longitud total 12m, de sección tubular hueca que en su unión alberga un brazo para los sensores de anemometría, y que además incorpora una escalera externa de mantenimiento.

### **1.3.2 GÓNDOLA**

Constituida por un chasis de acero galvanizado en caliente y una cubierta abatible de chapa galvanizada reforzada con nervios tubulares, que mediante unas ruedas y raíles se abate hacia atrás manteniéndose en esa posición por su propio peso.

Incorpora además unos balcones de mantenimiento en ambos lados que giran solidarios a esta, permitiendo la llegada del operario desde la escalera y ofreciéndole todo el espacio de colocación de dispositivos.

### **1.3.3 ROTOR**

Está compuesto por el buje, el eje principal, los rodamientos y las 3 palas de 10,3m de diámetro y paso fijo, cuyo sentido de giro es el de las agujas del reloj y su velocidad nominal de 75rpm.

Las palas disponen de un freno aerodinámico de giro de las puntas que se activa a partir de las 83rpm y que ofrecen un sistema de seguridad adicional contra el embalamiento.

### **1.3.4 GENERADORES**

Se dispone de 2 máquinas de inducción trifásicas jaula de ardilla de 7,5 y 30kW, ambas de 1500rpm de velocidad nominal, con factores de potencia 0,85 y 0,87 respectivamente y un rendimiento de 87%.

### **1.3.5 MULTIPLICADORA**

De tipo pendular, con relación de transformación 1:20,26 y potencia nominal de 38kW.

### **1.3.6 ELECTRO-FRENO**

De tipo muelles de reacción normalmente cerrados que se activan por corriente eléctrica y que frenan por medio de zapatas un disco solidario al eje de generación de la máquina de 30kW desde donde se transmite el par de freno. Su potencia nominal es de 48W.

### **1.3.7 EJES MECÁNICOS Y DISTRIBUCIÓN**

Formado por los acoples entre multiplicadora y el motor de 30kW, además del sistema de transmisión por correa de una máquina a otra que ofrece una multiplicación de velocidad de 1:1,056.

---

## 1.4 LA EMPRESA SOLICITANTE

Con el propósito de ajuste a las perspectivas técnicas de la empresa, se declaran por su parte unas condiciones de diseño iniciales desde las que realizar el desarrollo del trabajo propuesto y concretando el ámbito del mismo a la vez que eliminando la necesidad de justificar tales elecciones.

### 1.4.1 CONDICIONES

La actualización del aerogenerador modelo PEUI 10 se realizará utilizando las piezas mecánicas disponibles (descritas en el punto 1.3 *Piezas reutilizadas*), y no será posible la utilización de otras nuevas.

La conexión a la red de las máquinas se realizará mediante el tipo “directo”, a través de las protecciones necesarias que proyectará la propia empresa.

El arranque será gestionado por un dispositivo de “arranque-suave” trifásico, del que únicamente se podrá utilizar las señales *inicio* como entrada y *fin* como salida además de la configuración del tiempo de arranque.

La selección y colocación de los dispositivos de potencia, tales como contactores, relés y protecciones será a cargo de otro proyecto de fin de carrera solicitado por la empresa, y el alumno únicamente los usará en vistas al método de control y en los cálculos que sean necesarios.

Será obligatorio trabajar con la marca Schneider Electric para la selección del autómata, puesto que es la empresa con la G.P.S. trabaja normalmente y para la que se prepara a sus operarios de mantenimiento.

## 1.5 CREACIÓN DEL ALUMNO

Se ha tomado la decisión de llamar a esta actualización NEO PEUI-X, ya que genera un tratamiento más convincente y cercano a la hora de hablar y describir este desarrollo teórico tanto en el documento del proyecto como en la defensa del proyecto.

## 2. Sistema supervisor

## 2 SISTEMA SUPERVISOR

---

2.1	INTRODUCCIÓN	1
2.2	DESCRIPCIÓN DEL AUTOMATA	2
2.2.1	ELEMENTOS DE COMUNICACIÓN	4
2.2.2	MEMORIA	4
2.2.3	ALIMENTACIÓN	6
2.2.4	MÓDULOS I/O	8
2.2.4.1	E/S DIGITALES	9
2.2.4.2	E/S ANALÓGICAS	10
2.2.5	COMUNICACIÓN	12
2.3	PERIFÉRICOS	13
2.3.1	SENSORES	13
2.3.1.1	CONDICIONES EXTERNAS	14
2.3.1.1.1	ANEMÓMETRO	15
2.3.1.1.2	VELETA	16
2.3.1.2	VARIABLES DE PROCESO	18
2.3.1.2.1	DÍNAMO	18
2.3.1.2.2	TRANSFORMADORES DE INTENSIDAD	19
2.3.1.3	CONDICIONANTES DE ALARMA	20
2.3.1.3.1	TERMOPARES	20
2.3.1.3.2	SENSOR DE VIBRACIÓN	21
2.3.2	SERVOCONTROLADOR	22
2.3.3	TRANSMISION DE SEÑALES Y ALIMENTACIONES	23
2.3.3.1	DIGITALES	23
2.3.3.2	SENSORES	24
2.3.3.3	ALIMENTACIÓN DE POTENCIA	25
2.3.3.4	ALIMENTACIÓN DE SENSORES	25
2.3.3.5	MOTOR SERVO	26
2.3.3.6	PROTECCION FRENTE A TORSIÓN DE CABLES	26
2.3.4	INTERFACE HOMBRE-MÁQUINA	26
2.3.4.1	PANEL DE MANDO	



## 2 SISTEMA SUPERVISOR

### 2.1 INTRODUCCIÓN

El sistema de control debe contener un autómata central, encargado de supervisar todos los sucesos implicados en la tarea de generación, así como realizar las acciones adecuadas y emitir eventos relacionados con el estado que faciliten la tarea de control y revisión por parte del operario. Todo, con la adecuación necesaria a las condiciones iniciales propuesta por la empresa y ajustándose a los niveles técnicos cuantitativa y cualitativamente.

Para este propósito y bajo la premisa de la utilización obligatoria de la marca Schneider Electric se ha efectuado una revisión del catálogo 2011 de la marca, atendiendo a las características principales relacionadas con el presente proyecto.

MODELO	Twido	TSX Micro	M340	Premium	Quantum	Momentum	
NIVEL <sup>(*)</sup>	1	2	3	4	5	6	
MODULAR	Opcional	Si	Si	Si	Si	Si	
PRESTACIONES	E/S D max	40	92	1024	2048	2592	16384
	E/S A max	No	24	256	512	512	16384
	EXTRAS	Modbus Posicionamiento	As interface CANopen modbus Ethernet	As interface CANopen Ethernet modbus Ethernet Contaje Comunic.	As interface CANopen Ethernet modbus Ethernet Contaje Comunic.	As interface CANopen Ethernet modbus Ethernet Contaje Comunic.	As interface CANopen Ethernet modbus Ethernet Contaje Comunic.
SERVOCONTROL	Si	Si	Si	Si	Si	Si	
SOFTWARE	TXT	Si	Si	Si	Si	Si	Si
	LD	Si	Si	Si	Si	Si	Si
	BLOQUES	No	No	Si	Si	Si	Si
	GRAF CET	No	Si	Si	Si	Si	Si
	FUNCIÓN SERVO	Si	No	Si	Si	Si	Si
PROG. INTERFACE	No	No	Si	Si	Si	Si	

Tabla comparativa de las prestaciones de los autómatas de la marca Schneider Electric

(\*) Nivel tecnológico y adquisitivo

La supervisión de este aerogenerador requiere unas características que se catalogan de básicas y a partir de las cuales se deben incorporar las necesarias para la correcta realización del proyecto sin olvidar las realidades industriales. A continuación se detallan en la siguiente tabla.

Velocidad de respuesta	No especifica, no tareas muy rápidas
E/S Digitales	7/8
E/S Analógicas	9/0
Comunicación PC/Periféricos	Si
Servocontrol para orientación	Si, con asistente software
Programación	Bloques de función, Grafcet
Interfaces	Bidireccionales, tipo SCADA

Tabla comparativa de las prestaciones necesarias para la aplicación

El CPU Modicon Telemecanique BMX 340 2010 de Schneider Electric es el autómatas elegido para la ejecución de la actualización del aerogenerador PEUI-10, las justificaciones sobre su elección y sus características principales en la instalación se presentan a continuación:

## 2.2 DESCRIPCIÓN DEL AUTOMATA

El CPU 34 2010 es un potente CPU de tipo modular, es decir, que necesita incorporar módulos específicos tales como los de E/S digitales y analógicas para interactuar con el entorno, a pesar de que la propia CPU incorpora varios sistemas de comunicación, y a diferencia de otros autómatas de la firma Schneider Electric de menor rango como son el Twido y el Micro, que ya incorporan de serie algunos puertos de E/S, mas estos no poseen las características de complementación hardware que se necesitan para este proyecto.

Todos los módulos se presentan en una caja blanca con grado de protección IP 20 y el acoplamiento de cada módulo se establece a través de unos racks de numeración BMX XBP, compatibles con Riel DIN, que incorporan celdas de conexión rápida haciendo que la instalación sea sumamente fácil y rápida únicamente a través de un par de tornillos para cada modulo. Estos están comunicados internamente a través de unos slots de puertos traseros que proporcionan alimentación y transmisión de datos a todos los módulos además de protegerlos frente a EMI y ESD gracias a que incorporan unas guías para colocar barras de masa (BMX XSP 0400 para longitud 4 slots) a las que conectar los blindajes de los cables por medio de unos anillos de apriete (BMX XSP 3020) y unos cubre slots para la posición vacía que en nuestro caso no existe.

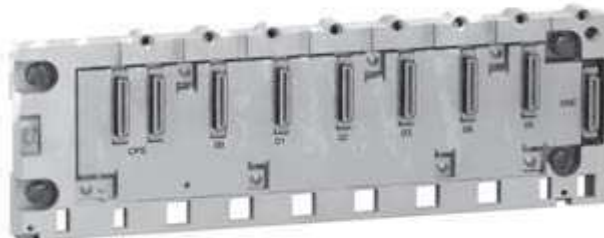









Imagen del rack de 6 slots

El numero de módulos que es capaz de conectar depende del modelo y se especifica en el código BMX XPB \*\*00 sustituyendo los asteriscos por el número de emplazamientos, así pues existen racks con 4, 6, 8 y 12 posiciones adicionales a la del modulo de alimentación, que ocupa siempre la posición de la izquierda y se conecta a través de 2 slots, y a los que hay que restar la posición 0 que es ocupada por la CPU sea cual sea su numeración M340. Cada módulo específico ocupa un slot y si no hubiera suficiente espacio para el volumen de módulos cada rack incorpora en el extremo derecho un puerto de interconexión de racks, que permite la conexión remota hasta a 100 metros de distancia un máximo de 4 racks por cada CPU que no sea la básica (BMX 34 1000) en cuyo caso el numero se reduce a 2 racks máximo. Cada rack necesita un módulo de alimentación para activar el bus de alimentación y el de datos, además no es necesaria la utilización de CPUs alternativas de no ser que queramos ampliar el número de módulos o racks a mas de 2 para la CPU básica y hasta 4 para las avanzadas que es nuestro caso, entonces sería necesaria conexión entre las mismas para intercambio de datos en el programa. No hemos tomado esa solución para el handicap de transmisión a distancia puesto que el colocar una nueva fuente de alimentación encarece el sistema bastante.

La capacidad de gestión de E/S es muy amplia con respecto al volumen de señales que este sistema aerogenerador debe incorporar, en concreto 1024 E/S digitales frente a 8 salidas y 7 entradas usadas, 256 E/S analógicas frente a 9 entradas usadas, 32 equipos esclavos en enlace modbus y 63 en TCP/IP o CANopen que es nuestro caso frente a 1 esclavo y 36 vías entre contaje y movimiento que no usamos. Además los ciclos de trabajo del programa principal con tratamiento booleano e instrucciones aritméticas trabajan alrededor del milisegundo.

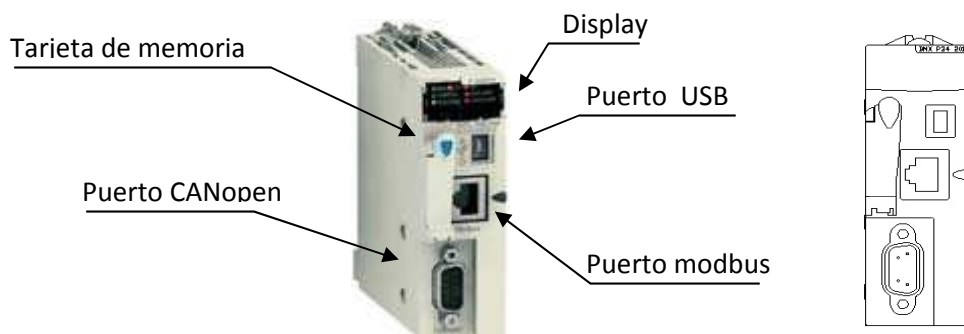
Estos datos nos permiten asegurar que el sistema posee los suficientes recursos para satisfacer nuestro propósito con amplia seguridad, sin exceso de trabajo ni carga alta de memoria, que calentarían el sistema, además de la rápida respuesta ya que en cada ciclo se gestionan todas las entradas y salidas en uso, junto con la supervisión de errores en los módulos activos. La metodología de tratamiento de E/S y el sistema de supervisión y ejecución del programa principal se aborda en el punto de software UNITY Pro.

Otro aspecto a destacar de las CPU M340 son los LED de estado del autómatas, que se encuentran en la parte delantera a la primera vista del operario y que le facilitan la revisión de los estados del sistema tal y como se describe en la siguiente tabla:

Color	Nombre	Correspondencia
	RUN	Procesador en funcionamiento (ejecución del programa)
	ERR	Fallo del proceso o fallo de sistema
	E/S	Fallo procedente de E/S
	SER COM	Actividad en el enlace serie modbus
	CARD ERR	Ausencia o fallo en tarjeta de memoria
	CAN RUN	Bus máquina/instalación integrado operativo
	CAN ERR	Fallo en bus máquina instalación integrado

Panel frontal BMX P34 2010

En complemento a este indicador podemos encontrar un puerto mini-USB que nos permite la conexión directa con un terminal externo, como las pantallas de usuario y control MAGELIS y la conexión directa a un equipo PC para realizar la transferencia del programa al autómatas o trabajar con las pantallas de operador que el software UNITY incorpora en todas sus versiones. Ambos son una buena solución para gestionar y visualizar las variables de proceso y el control de la máquina, este apartado se desarrolla ampliamente en el punto 4.6 *Pantallas de operador*.



Vista real y frontal del BMX P34 2010

Toda la familia 340, a excepción del modelo básico P34 1000, incorpora tarjeta de memoria de 8Mb ampliable hasta 128Mb con código BMX RMS 008MP para la copia de seguridad del programa principal, que en su versión de serie ya supera ampliamente las expectativas de almacenamiento necesarias. Además se complementa con piloto de funcionamiento correcto y/o estado presente que facilita su puesta en funcionamiento y su revisión.

### **2.2.1 ELEMENTOS DE COMUNICACIÓN**

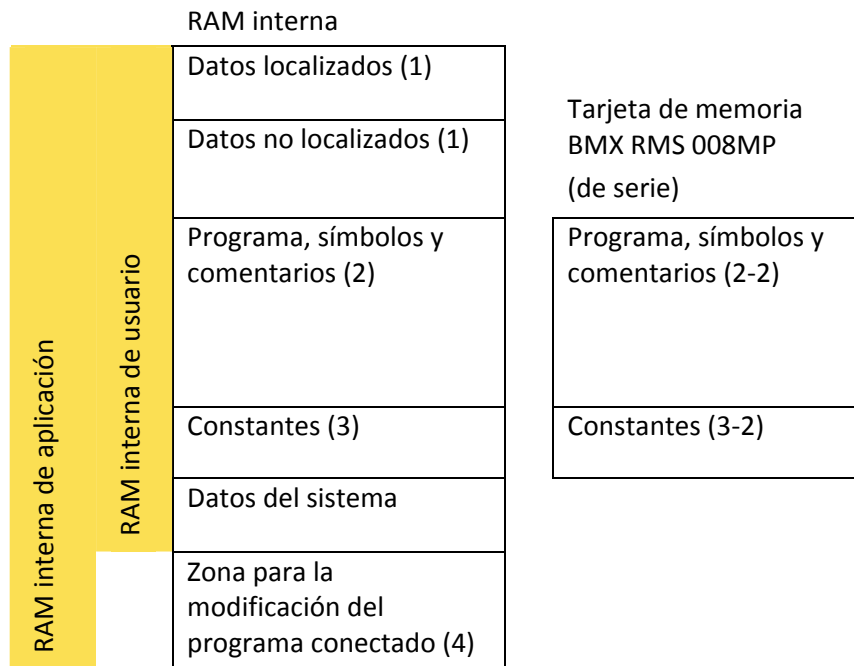
La diferencia más importante, y por lo que se aplica la nomenclatura de cada módulo CPU, es la clase de comunicación que posee, así pues esta central de proceso 2010 va equipada con un puerto modbus serie RJ45 para el intercambio de datos, según el protocolo con el mismo nombre, que permite la intercomunicación de hasta 32 esclavos a una distancia máxima de 15m para el tipo de cable 232 sin posibilidad de derivación, de 10m en no aislado y de 1.000m en aislado con posibilidad de 15m o 40m de derivación en las mismas características para el RS 485. La comunicación se establece como interrogatorios entre el maestro y los esclavos, modo en el que el maestro espera la respuesta del esclavo, o bien liberando un mensaje que todos los esclavos reciben y actúan según su cometido si les corresponde. La configuración de este bus se realiza mediante el software UNITY aunque no se explica debido a que no es usado en este aerogenerador ya que requiere un amplio proceso de configuración y el software no contiene determinadas funciones que para otros buses si implementa, a pesar de todo ello el bus reúne las características necesarias para conectar el servo LEXIUM 05 que controla el mecanismo de orientación del NEO PEUI-X.

La otra característica de la CPU usada y precisamente el motivo de la elección final de un procesador avanzado y en concreto el 2010, es el enlace de nivel alto CANopen, un tipo de enlace que está en auge ya que lo respaldan más de 400 empresas en todo el mundo. El bus está clasificado como bus de máquina puesto que permite una conexión multimaestro que garantiza el acceso a los datos en tiempo real de cada equipo de automatización, utilizando un par trenzado blindado en el sistema M340, posibilita la conexión serie o derivación de hasta 63 equipos con un caudal de entre 20kbits/s y 1Mbit/s según la longitud del cable que en concreto puede variar de 20 a 2.500m y que necesita en cada extremo una terminación de línea siendo este en el modulo CPU un conector SUB D-9, situado en el panel frontal bajo la ranura de tarjeta y el enlace modbus. En el apartado de comunicación del autómatas se retoma este bus, explicando sus características.

### **2.2.2 MEMORIA**

Toda la gama 340 contiene zonas de memoria interna, destinadas al almacenamiento y procesado de datos y programa, que permite el rápido acceso para que la ejecución y respuesta sea lo más instantánea posible. Algunas de estas zonas son duplicadas por seguridad en la tarjeta de memoria al desconectar el terminal de programación y a través de un bit pueden ser protegidas frente a escritura para asegurar su protección. Además es posible el volcado de una nueva versión de programa principal de ejecución en modo RUN mientras no requiera la modificación de E/S para lo que se recomienda la colocación de la máquina en situación de PARO.

Toda la gama 340 contiene una distribución de datos en su memoria RAM interna, repartida en zonas según su naturaleza y propósito:



Estructura de la memoria M340

### 1. Zona de datos de la aplicación

Datos localizados, que poseen dirección fija (%MW145) y se les puede asignar un símbolo (nombre)

Datos no localizados, únicamente definidos por un símbolo (Nombre) con posicionamiento variable elimina los problemas de la gestión de localización de la memoria.

La copia de estos datos se garantiza completamente al desconectar el autómata, mediante la duplicación de su contenido en una memoria no volátil de 256 KBytes integrada en el procesador, así como una copia de seguridad a merced del usuario.

### 2. Zona de programa, símbolos y comentarios

Esta zona contiene el código binario de ejecución del programa, el código fuente y todos los datos adyacentes a la aplicación transmitida como los comentarios que se pueden adjuntar a cada símbolo del programa.

### 3. Zona de constantes

Aquí se almacenan los datos localizados de la zona 1 para su transmisión a la tarjeta de memoria, generando un duplicado de seguridad adicional al ya existente en la zona no volátil.

#### 4. Zona de modificación en modo conectado

El usuario tiene la opción de transferir bidireccionalmente, el código fuente con el programa ejecutable, del terminal de programación al autómatas. Lo que posibilita la opción de tener el programa completo siempre en el autómatas y no necesitar tener el archivo en el terminal de programación para cuando el operario tenga que supervisar cualquier acción.

En cuanto a la duplicidad del código de ejecución y constantes del sistema, se suministra una tarjeta de memoria de serie, de tipo SD Card formateada por Schneider Electric, y que permite la nueva carga del programa una vez se restituye la red tras su caída.

Una vez explicada la sistemática de esta gama de autómatas pasamos a describir las diferentes partes del conjunto.

### 2.2.3 ALIMENTACIÓN

Los módulos BMX CPS están destinados a la alimentación de cada rack BMX XBP y sus módulos acoplados, por lo que hay que montar uno de ellos en cada rack a utilizar. En nuestro caso únicamente necesitamos un rack y por lo tanto un único módulo CPS, que se presenta en una caja con el doble de volumen para la disipación requerida y que garantiza la protección en grado IP20.

Existen dos tipos de alimentación y en cada una de ellas se dispone de dos potencias diferentes:

BMX CPS	2010	3020	2000	3500
Tensión entrada (V)	24	24-48	100-240	100-240
Potencia de salida (W)	16.5	31.2	20	36
	Corriente continua		Corriente alterna	

Características principales de las fuentes CPS

Toda la gama CPS incorporan en su cara frontal una serie de dispositivos que facilitan el uso por parte del operario, tales como un bloque de visualización formado por 2 pilotos verdes que nos indican el estado del módulo tal y como se presenta en la tabla siguiente:



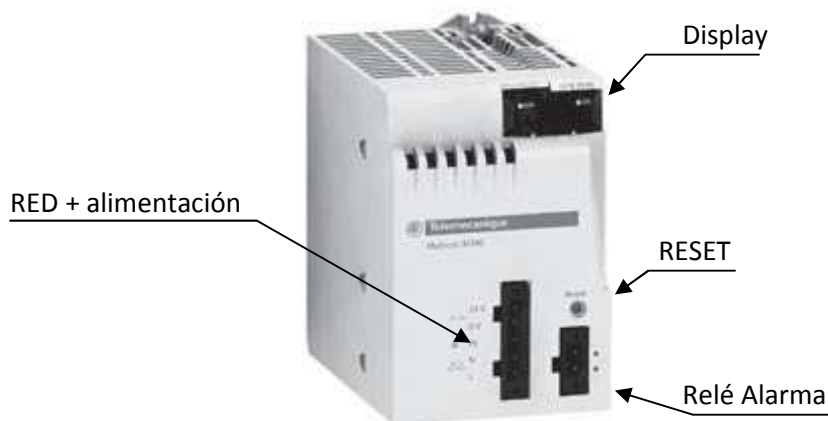
Color	Nombre	Correspondencia
	OK	Tensión presente en los racks y valor correcto de la misma
	24V	Tensión de captadores presente

Tabla representativa del panel visual de LED módulo CPS

En adición a esta supervisión se dispone de un conector de dos terminales, denominado relé de alarma, que permite la captación de fallo del sistema por otro dispositivo enviando una tensión carente de potencial mientras el funcionamiento es correcto y abriéndola, es decir poniendo valor 0 cuando el módulo detecta un fallo, tal como una tensión incorrecta durante un periodo superior a 10ms, incluyendo la caída completa de la misma, cortando la alimentación del sistema y disparando las protecciones del autómatas.

Para la conexión de la alimentación del módulo y por tanto de todo el sistema supervisor a la red eléctrica F-N (230V) se elige la gama 2000/3500, que dispone un conector de 5 contactos desenchufables por tornillos o resortes, que alberga también la alimentación de los captadores de 24V, y que en nuestro caso serán resortes (BMX CPS20) ya que son mas sencillos de colocar y como no son objeto de movimiento continuado no hay posibilidad de desgaste. Los terminales de la fuente 24VDC se conectarán a un bornero especial de 4 contactos que permitirá el puenteo de todos los hilos que necesiten fuente de alimentación tanto positiva como negativa para los sensores, captadores y actuadores. La conexión de todos estos cables se muestra en el punto 2.3.3 *Transmisión de señales y alimentaciones* y en el plano 5.2.5.5 *Regletero de alimentación*.

Para el reinicio manual del sistema, o lo que se denomina RESET y arranque en frío, existe un pulsador “punta de lápiz” situado encima de la salida del relé de alarma, y que permite disparar una secuencia de inicialización del CPU y los módulos a los que alimenta, generando al pulsar, la misma situación que un corte eléctrico y al soltar, la de una conexión a la red, que llevará a 0 o al valor predeterminado por programa a cada una de las salidas del sistema, manteniendo las constantes no dependientes de E/S con el valor adquirido, gracias a la tarjeta de memoria.



Vista tridimensional frontal de módulo CPS 2000

Tras los cálculos pertinentes a la sensorización del sistema aerogenerador, se llega a la conclusión de que algunos de los sensores y actuadores necesitan una gran potencia, por lo tanto se hará uso de una fuente externa de alimentación (230 – 24 V) que mas adelante se expone con detalle y cuyas hojas de características se encuentran en el archivo de anexos del presente proyecto. En todo caso son necesarios 14,288W de potencia en los módulos de sensorización y actuación para condiciones máximas, y por lo tanto se elige el módulo de potencia superior más próxima BMX CPS 2000 de 20W.

A continuación se muestra una tabla con los valores característicos del módulo CPS 2000 elegido para esta aplicación generadora. Para una mayor información, en el capítulo 5 *Documentación* se presenta una tabla completa de estos valores, suministrada por el fabricante, y un cálculo completo justificado de las corrientes de cada sensor, accionador y módulo.

Tensión nominal	240V	Corriente de arranque	≤ 60A
Tensión límite	85...264V	Duración de micro-cortes	10ms
Frecuencia	47...63Hz	Pot. útil global	20W
Pot. aparente	70VA	Pot. útil de salida rack	16,5W

Características básicas CPS 2000

La fuente de alimentación externa PULS CS5.241-S1 (220 – 24V) de 120W es totalmente necesaria puesto que en ningún caso, ninguno de los módulos de alimentación de la gama M340 es capaz de suministrar la potencia necesaria para alimentar 2 de los sensores, el servo y 1 de los actuadores, siendo estos el sistema de calefacción de anemómetro (18W), veleta (20W), LEXIUM (10W) y electro-freno (48W) con sus respectivos valores máximos.

Esta fuente irá conectada con sus propias protecciones independientes de la fuente CPS 2000 puesto que implica mucha mayor potencia.

Será necesaria la ampliación del número de pines para la salida puesto que se necesitan 4 y la fuente sólo dispone 2, para ello se hará uso de unos bornes de distribución de la misma familia que los del CPS 2000 (Weidmüller modelo WDU 1.5/ZZ) puesto que son para cables de 1,5mm<sup>2</sup> con suficiente grosor para albergar esas corrientes. Será necesaria la conexión del servo directamente a los terminales de la fuente mientras que los demás dispositivos lo harán en el bornero de potencia, según el plano de conexión 5.2.5.5 *Alimentaciones*.

La conexión de las tomas de tierra se realizará a través de cables de la misma medida, puesto que estos aguantan hasta 13A y este valor es mayor a total de salida, desde los terminales correspondientes de la fuente CPS 2000 y la de potencia a través de sus protecciones pertinentes.

Además la fuente de 120W requiere una conexión de toma de tierra para el blindaje de su carcasa y la protección EMI y ESD.

## 2.2.4 MÓDULOS I/O

Para la ejecución de la función supervisora es necesaria la utilización de módulos de entradas y salidas tanto digitales como analógicas, en concreto un total de 9 entradas de señales analógicas procedentes de los sensores, 7 entradas digitales de las cuales 2 son conmutadoras fijas, 3 de tipo pulsador algunas sin retorno y 1 señal de entrada para el inicio del arrancador. Por otro lado 8 salidas digitales para 5 contactores, 1 luz de alarma, 1 señal del arrancador y 1 control por relé del freno principal.

Según el catalogo 2011 de la gama 340 de Schneider Electric, los módulos a usar en esta aplicación son:



### 2.2.4.1 E/S DIGITALES

El uso de un número de canales menor a 8, tanto para entradas como para salidas, favorece la no utilización de dos módulos diferentes gracias a la existencia del BMX DDM 16022, que comparte 8 entradas protegidas de 24V CC con otras ocho salidas transistorizadas con lógica positiva de 24V CC y que satisface los requerimientos de corriente necesarios para la recepción y emisión de los valores todo/nada que el sistema necesita, ya que estos son pulsadores, conmutadores y relés de control que apenas consumen corriente, no obstante, la capacidad de suministrar corriente es de 0,5A por canal. En sentido contrario la capacidad de absorber corriente por parte de los captadores es mucho más limitada puesto que son entradas de alta impedancia que reciben el valor 0 o 24V, su valor máximo es de 3,5mA el cual es suficiente.

Este módulo se presenta como los demás en una caja con protección IP20 con un identificador en la parte frontal superior que permite distinguirlo de otros módulos, ocupando un sólo emplazamiento en el rack, lo que reduce el espacio utilizado y por tanto el número de estos y evidentemente su precio.

En la parte frontal incorpora un panel de LED que indican visualmente el estado del módulo y sus vías con arreglo al siguiente esquema:









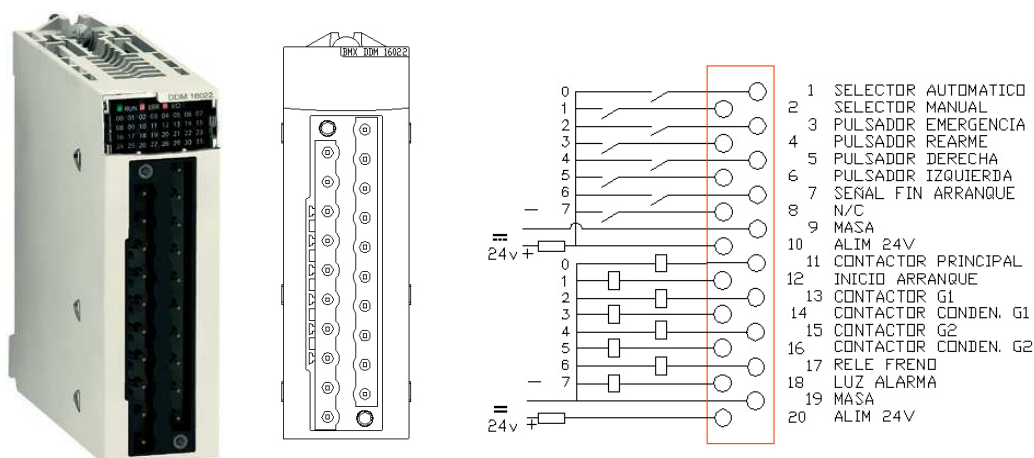
Luz	Tipo	Nombre	Descripción
	Fijo	RUN	Funcionamiento normal
	Fijo	ERR	Fallo interno del módulo
	Intermitente	ERR	Fallo de intercambio entre módulo y procesador
	Fijo	I/O	Fallo externo (tensión, sobrecarga, cortocircuito)
	Intermitente	I/O	Fallo en bornero
	Fijo	(Nº vía)	Canal en estado 1
	Fijo	(Nº vía)	Canal en estado 0
	Intermitente	(Nº vía)	Vía con defecto, sobrecarga o cortocircuito

Tabla de representativa del panel LED de los módulos digitales

También se incorpora un piloto adicional, que en nuestro módulo no se utiliza, puesto que indica cuando el número de canales es superior a 32, si los LED hacen referencia al 1-32 o a 33-64 puesto que no incorpora 64 posiciones.

La conexión de los captadores/ preaccionadores se realiza mediante módulos conectores de 20 contactos para esta gama DDM 16022, disponibles con extremos de bornes, hilos libres e incluso únicamente el conector con bornero que es nuestro caso, puesto que la longitud mínima de cables des de 3m, sobraría mucho cable ya que la aplicación digital tanto para captadores como actuadores se desarrolla íntegramente en los armarios de control y potencia. La sujeción de estos extremos tiene la posibilidad de realizarse en tres modalidades: tornillo, tornillo con estribo y resorte (BMX FTB 2020), que es la elegida ya que facilita la rápida inserción y aseguran de la misma manera la adherencia puesto que no es una pieza con movilidad continuada, únicamente en la prueba del sistema y la instalación primaria. El operario de puesta en marcha deberá conectar cables blindados de 1,5mm<sup>2</sup>, de la medida pertinente, desde cada uno de los actuadores/ captadores al bornero correspondiente, según el siguiente cuadro, desde el bornero de alimentación puentado a +VCC para los captadores y

desde el propio de masa para los actuadores. El blindaje únicamente conectado a la barra de masa anclada al rack a través de los anillos de sujeción, esta tarea se consulta también en el plano 5.2.5.1 *Módulo digital*.



Vista tridimensional y frontal del módulo 16022 con 20 contactos y panel de conexión del bornero

El módulo dispone de funciones para garantizar el correcto funcionamiento y asegurar las buenas condiciones de trabajo tales como la protección de entradas de corriente constante que garantizan la corriente mínima del estado activo según norma IEC, limitan la corriente consumida al aumentar la tensión de entrada para evitar el calentamiento innecesario del módulo y reducir la corriente consumida en la alimentación de los captadores. También se aplican algunos dispositivos a las salidas del módulo para protegerlo frente a sobrecargas o cortocircuitos que provocan la desactivación de la salida (disyunción) y la visualización de este fallo en los LED de estado como se ha comentado y se dispone de un circuito de desmagnetización de tipo zener en antiparalelo que protege al módulo de sobretensiones derivadas de procesos inductivos.

Cuando se detecta una disyunción de una de las vías, el módulo es capaz de rearmar ese canal automáticamente cada 10s hasta la desaparición del fallo, o estar programado en el tiempo que se desee, esta función de programación no es utilizada por nuestro sistema ya que con el rearme automático nos es suficiente y a través de programa permitimos un error de 1min hasta saltar a la alarma.

### 2.2.4.2 E/S ANALÓGICAS

En este caso, ocurre lo contrario de la sección digital, puesto que tenemos 9 señales a tratar y según el catálogo M340 de 2011 únicamente existen módulos de entradas analógicas de 4 u 8 canales y por lo tanto elegiremos uno de cada uno.

Ambos módulos comparten la mayoría de sus características, pues vienen presentados en una carcasa rígida de protección IP-20 que ocupa una sola posición del rack además vienen marcados con su modelo en el extremo superior derecho para diferenciarlos. Poseen un display del mismo tipo que su homólogo digital, con la diferencia de que el LED de cada canal indica si se usa o no además de su situación de vía con defecto, aquí se adjunta la tabla que lo especifica:









Tipo	Nombre	Descripción	
	Fijo	RUN	Funcionamiento normal
	Fijo	ERR	Fallo interno del módulo
	Intermitente	ERR	Fallo de intercambio entre módulo y procesador
	Fijo	I/O	Fallo externo (tensión, sobrecarga, cortocircuito)
	Intermitente	I/O	Fallo en bornero
	Fijo	(Nº vía)	Canal en activado
	Fijo	(Nº vía)	Canal en estado desactivado
	Intermitente	(Nº vía)	Vía con defecto, sobrecarga o cortocircuito

Tabla representativa del panel LED de los módulos digitales

Algunas de sus características internas son: q ambos poseen circuitos de aislamiento de tensión para la protección entre terminales y la capacidad de trabajar con señales de muchos rangos para un tiempo similar de adquisición, siendo este de 1ms común + 1ms para cada canal q se desee leer, en total “1+ nº de canales” que significan una respuesta cuasi-instantánea para nuestro propósito. Los rangos disponibles abarcan prácticamente toda la gama de señales:  $\pm 10V$ ,  $\pm 5V$ ,  $0 - 10V$ ,  $0 - 5V$  y  $1 - 5V$  para tensiones y  $0 - 20mA$  y  $4 - 20mA$  para corriente. La profundidad es de 15bits + signo, lo cual nos da una precisión muy alta para los requerimientos de la aplicación.

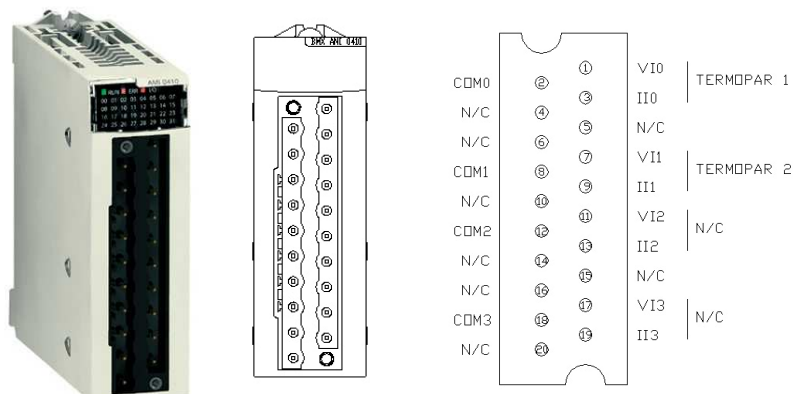
Otro apartado común es la conexión de los terminales según el tipo de señal, pues para las de tensión (en este caso los 3 trafos de intensidad) únicamente se conectan los terminales VI\* y COM\* mientras que para las entradas en corriente, que son el resto, es necesario puentear la entrada II\* con VI\* en ese orden por convenio del proyecto y la del COM\* al negativo como es normal.

Se ha elegido la instalación de estos módulos, en comparación a otras soluciones como la disposición de racks a distancia que ofrecen un tratamiento digital de envío, pero suponen una opción mucho más cara en ya que implica añadir módulos de alimentación adicionales. En este sentido la solución elegida en ambos módulos es la de bornero de resortes con la inclusión e cables propios a la media necesaria. Otra elección es la del tipo de conexión, existiendo la de tornillo, tornillo con estribo y resorte. También existe la posibilidad de colocarlos en el borne o utilizar un conector ya prefabricado precableado, en todo caso la conexión de cada sensor va descrita en su apartado y un resumen de la misma en el punto 2.3.3 *Transmisión de señal y alimentación*.

A continuación se exponen las diferencias entre los módulos:

### BMX AMI 0410

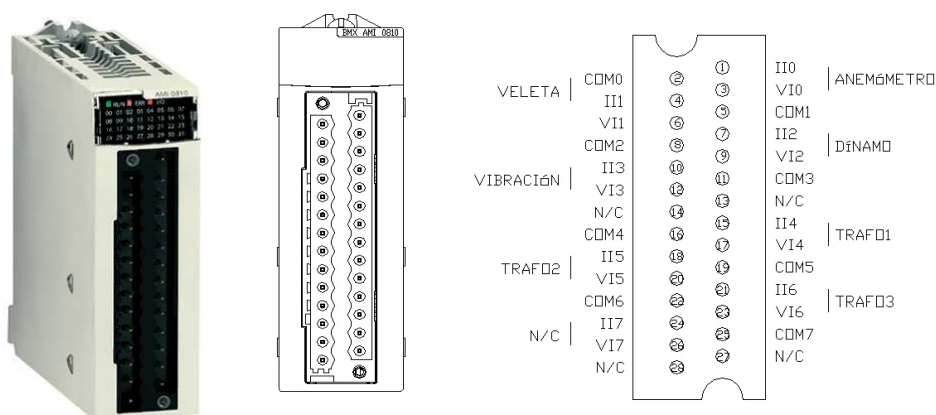
Este módulo posee un bornero de 20 contactos cuya distribución de la señales viene dada en las siguientes imágenes.



Vista real, representación frontal y esquema de conexión del módulo AMI 0410

### BMX AMI 0810

Este otro módulo presenta un bornero de 28 contactos con la disposición mostrada a continuación:



Vista real, representación frontal y esquema de conexión del módulo AMI 0810

## 2.2.5 COMUNICACIÓN

El módulo principal BMX 34 2010 incorpora, como ya se ha citado anteriormente, un puerto de comunicación CANopen que permite la conexión de máquinas y estaciones a distancia con una rápida respuesta, ya que trabaja con una frecuencia de hasta 1Mbit/s para distancias menores a 20 m que es nuestro caso, garantizando una amplia y completa transparencia en la tramitación de los datos tanto en lectura como en escritura y tanto por maestro como por esclavos ya que opera con un red tipo CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Acces / Colision Avoid : Sensado de Portadora de Múltiple Acceso / Eliminación de Colisiones), que se basa en intercambios de difusión con emisión cíclica o periódica según la configuración adoptada y que asegura la instantaneidad de la solicitud del programa para ejecutar las instrucciones que la requieran.

Una de las principales razones de la elección de este tipo de bus va ligada al uso del sistema LEXIUM y al software UNITY que viene provisto de unos bloques de función específicos que facilitan la instalación y la programación de las acciones necesarias, tales como el movimiento relativo y el movimiento manual, en comparación a otros como el protocolo modbus en el que hay que seleccionar las posiciones de la memoria y crear funciones tipo PID con calculo de constantes que retrasan el tiempo de creación del programa principal.

Otros factores a resaltar son los precios que suponen las diferentes redes en su incorporación al módulo madre 340, y en la que el protocolo modbus reduce mucho el coste en detrimento de una programación más ardua mientras que si usamos la red Ethernet TCP/IP de similares características a la CANopen el precio asciende a casi el doble, según las tarifas servidas por la firma, quedando como mejor elección posible en relación prestaciones/precio la presente CANopen.

## 2.3 PERIFÉRICOS

Para realizar el intercambio de información con el entorno se necesitan una serie de dispositivos adecuados para esa lectura, en este proyecto se necesita contabilizar un número reducido de variables que facilita la tarea, pero la elección de sus sensores queda muy marcada por la separación entre armario y góndola donde se realizan las funciones de tratamiento y medición respectivamente.

### 2.3.1 SENSORES

La gama de sensores utilizados en el sistema generador NEO PEUI-X es una selección de los dispositivos analógicos que más se ajustan a las necesidades, valores extremos y funcionalidad tanto del propósito generador como de los requerimientos morfológicos y de tratamiento binario.

A continuación, se presenta una tabla en la que se exponen los nombres de los sensores necesarios y sus propósitos en la aplicación.

Nombre	Propósito
Acelerómetro	Lectura de las vibraciones en la carcasa de la góndola
Anemómetro	Lectura de la velocidad del viento
Dínamo (generador CC)	Lectura de la velocidad del rotor de alta velocidad
Termopar	Lectura de las temperaturas de las máquinas generadoras
Transformador de intensidad	Lectura de las corrientes en el circuito de potencia
Veleta	Lectura de la dirección del viento

Tabla descriptora de los propósitos de los sensores

Según la naturaleza de la aplicación y debido al amplio distanciamiento entre el armario de control donde se ubica el autómatas y la zona de sensorización, con un valor aproximado de 11m. Tal como se ha explicado en el punto 2.2.4 *Módulos I/O* las conexiones de los cables de señal se realizan directamente en los módulos de entradas analógicas y no a través de sistemas de adquisición de datos a distancia de tipo ADVANTYS, o la colocación de un rack adicional que crean un bornero lejos del módulo pertinente pero que no dispone de medidas adecuadas a nuestro propósito, por ello se ha tomado la premisa de utilizar señales de tipo 4-20mA con cables blindados por masa para todas las transmisiones ya que aporta fiabilidad, precisión y margen de estado ON (4mA) para estas transmisiones a distancia, a ello se debe la elección de algunos de los dispositivos que a continuación se describen. Si se desea mayor información en el archivo *Anexos* se adjuntan las hojas de datos de todos ellos.

Antes de pasar completamente a la descripción, vamos a hacer una distinción primaria según la naturaleza de la componente a medir y su tarea en toda la acción generadora:

### 2.3.1.1 CONDICIONES EXTERNAS

Estas variables hacen referencia a las condiciones exteriores, es decir, los factores no controlables por el sistema, a los que hay que amoldarse para conseguir la máxima transmisión de energía y sobre los que hay que protegerse si fuere necesario.

Ambos sensores irán colocados en un soporte que presenta la torre a media altura con acceso de cables tal y como usaba la antigua instalación, y el cual crea una posición mas que aceptable en la que las condiciones meteorológicas serán de gran similitud a las del eje generador. Este detalle creará una referencia de posición fija que se hace útil para el posicionamiento de la góndola y además para asegurar la protección de los cables frente a tensiones por exceso de vueltas, que se explica en el punto de transmisión de señal y alimentación.

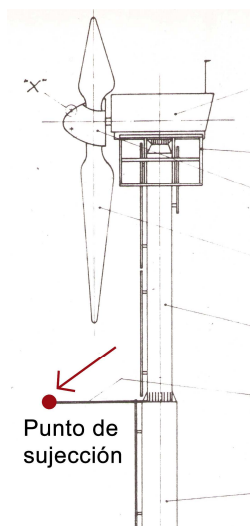


Ilustración del punto de colocación sobre el alzado de la torre

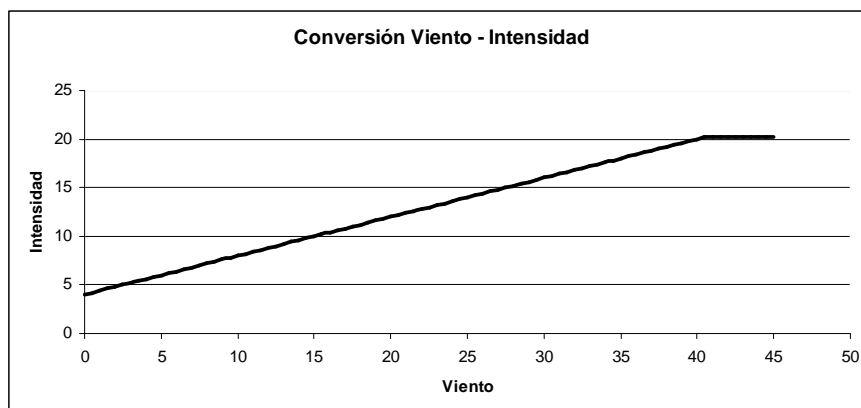
### 2.3.1.1.1 ANEMÓMETRO

Dispositivo encargado de contabilizar la velocidad del viento para el inicio de la acción generadora y la protección frente a condiciones adversas.

Puesto que no es una aplicación de precisión, el valor de resolución del anemómetro no es de gran importancia y nos basta con 1m/s, pero la gama existente en el mercado es algo más precisa con resoluciones en torno a 0,1m/s lo cual satisface ampliamente las expectativas de control.

La gran mayoría de los anemómetros comerciales opera con un sistema de conmutación en tensión digital que modifica su frecuencia linealmente según la velocidad del viento mediante unos contactos rotativos que dejan pasar o no esa tensión, disponible en varios rangos, y que como ya hemos comentado no interesan para este handicap de sensorización a 11m de distancia.

Por lo tanto se ha elegido una gama algo más compleja pero con mayor ajuste al propósito, que consiste en una salida en corriente continua de crecimiento lineal 4 – 20mA que arranca en 0,4m/s (prácticamente 0) hasta el límite de 40m/s para el cual la máquina ya estará parada puesto el límite de trabajo son 25m/s tal y como proponía la antigua instalación, el dispositivo presenta como valor máximo de funcionamiento 80m/s durante 30min.



Función de transferencia Anemómetro

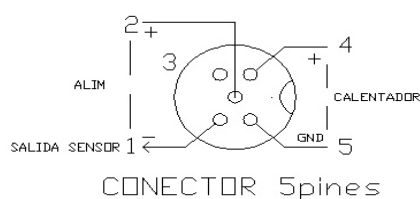
El modelo usado es el AO-KWS-C que incorpora un calefactor inteligente que se activa al descender de 0°C para permitir el funcionamiento ante condiciones bajo cero y que se ha elegido puesto que su ubicación esta por determinar y por lo tanto existe la posibilidad de esos rangos de temperatura. El sistema requiere pues una alimentación de potencia a 24V que consumirá un máximo de 18W que es la mitad de lo que es capaz de suministrar el CPS-2000 y por tanto se conectará a la fuente externa.

Se adjunta a continuación una tabla con los valores principales de operación, para mayor información consultar el archivo *Anexos*.

Rango	0 – 40m/s	Tensión y Corr. Alim	24 VDC 30mA
Resolución	<0,1m/s	Salida	DC 4 – 20mA
Arranque	<0,4m/s	Calefacción (W)	18 W
Vel. Máxima (30min)	80m/s	Medida	Lector Magnético

Tabla con los valores característicos del sensor anemómetro

El anemómetro viene equipado con un cable de conexión de 5 pines conectados como muestra el plano 5.2.5.7 *Anemómetro*, con una longitud de 3m que satisface la necesidad de distanciamiento desde la torre, se conectará a una hembra a la cual se le habrán soldado por parte del operario los correspondientes cables quedando esta unión en la cavidad de la torre de manera aérea y que realizará la distribución entre sensorización y calefacción del sistema, según la siguiente muestra:



Esquema de distribución del conector Anemómetro

La bajada de cables a través de la torre será separada puesto que la parte de sensorización irá por un cable blindado multipar mientras que la parte de alimentación (1 hilo) y calefacción (2hilos) descenderán unidas por bridas según dos secciones, una la de alimentación tomada del CPS 2000 a través de bornero puenteado de alimentación y otra la de potencia desde el correspondiente a la fuente externa. Tras la llegada al armario de control la conexión de este sensor al modulo correspondiente es un tanto peculiar puesto que únicamente hay un terminal de sensorización y por tanto de conexión al módulo BMX AMI 0810, además y como ya se ha expuesto en el punto de entradas analógicas, se debe conectar a los dos bornes del canal 0, VI0 e II0 (pin 1 y 3 respectivamente) y para ello se usará un puente sin blindar a la altura del bornero de conexión. El terminal negativo COM0 (pin 3) no bajará pues de la góndola y su cable no estará desconectado, pues desde el bornero del módulo devolveremos a través de un nuevo cable de 1,5mm<sup>2</sup> sin blindar a la masa del CPS 2000 del bornero de alimentación para cerrar el circuito ya que fue donde salió a través del cable 5 del conector. Por ultimo el blindaje del cable q transporta la señal se debe llevar a uno de los anillo de ajuste montados sobre la barra de masa del rack.

### 2.3.1.1.2 VELETA

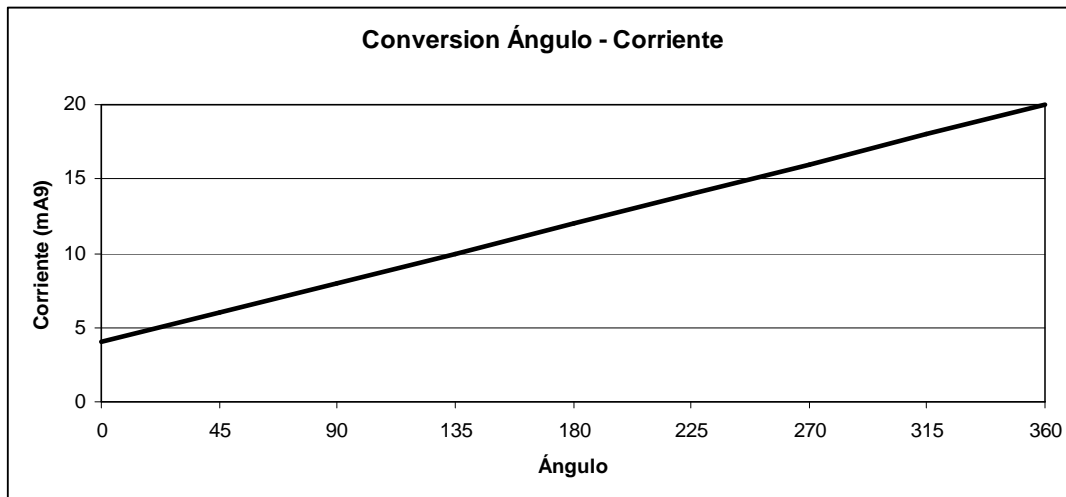
Es uno de los sensores con mayor importancia en la instalación, puesto que si el eje de generación no esta alineado con la dirección del viento la captación de energía desciende considerablemente, por lo que el sensor debe ser robusto y duradero.

En contraposición, no es muy necesaria una gran resolución para esta dirección, si bien caben algún grado de error, la veleta elegida posee  $\pm 2,5^\circ$  en este parámetro y una resolución de  $1^\circ$  que para este cometido es suficiente y no debería a causar problemas.



Se ha elegido una veleta de la misma marca y complementaria al anemómetro para que las dos tengan unas características similares tales como la velocidad de arranque y máxima, el material usado y el tipo de salida.

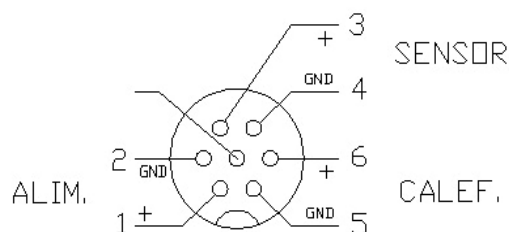
El tipo de salida propuesto en el proyecto en conveniencia con las condiciones de sensorización a distancia de 11m requiere el uso de una salida 4 – 20mA que es la que ofrece este sensor, junto con la linealidad de la misma en todo el rango 0 – 360°, será necesaria la colocación del punto de origen 0° (4mA) en la misma dirección del proceso de puesta en marcha que se describe en el punto 4.1.1 *Set up* para que ambos sensores (encoder y veleta tengan el mismo punto de referencia)



Función de transferencia Veleta

También se destaca, como en el anterior, la disposición de calefacción de activación automática para condiciones por debajo de 0° de temperatura, y un consumo de 20w máx, que irá en paralelo al anemómetro en la fuente de alimentación de potencia.

La conexión al cable de señal blindado se hará al igual que el anemómetro utilizando su conector correspondiente, en este caso de 7 pines, para realizar el empalme en la cavidad de la torre de manera aérea (libre) y al que se deberá soldar los cables correspondientes según el esquema siguiente:



Esquema de distribución del conector Veleta

Del mismo modo también la bajada de líneas por la torre irá separada por un lado la señal irá blindada en el cable multipar y por otro irán abrazadas con un brida tanto la sección de alimentaciones proveniente del CPS 2000 como la de potencia desde la fuente externa. Al llegar al armario de control el terminal de señal 3 será insertado al bornero del BMX AMI 0810 en el canal 1, en concreto II1 e VI1 (pin 4 y 6 respectivamente) mediante un puente para la duplicación y el terminal 4 lo hará en el COM1 (pin 5). El blindaje como ya se ha comentado se conecta a uno de los anillos de la barra de masa.

Se adjunta a continuación la tabla de valores característicos, si se desea más información consultar el archivo *Anexos*:

Rango	0 – 360º	Tensión y Corr. Alim	24 VDC 30mA
Resolución	>1º	Salida	DC 4 – 20mA
Arranque	<0,4m/s	Calefacción (W)	20 W
Vel. Máxima (30min)	80m/s	Precisión	±2.5º

Tabla con los valores característicos del sensor veleta

### 2.3.1.2 VARIABLES DE PROCESO

El siguiente grupo de variables de la aplicación corresponden a las propiamente generadas en el proceso, que son controlables mediante actuadores de manera continuada como el freno, que va decreciendo la velocidad del eje, y/o los contactores principal y correspondientes a G1 (Generador 1) o G2 (Generador 2) que eliminan la corriente por el circuito de potencia. Estas variables se usan como consignas de cambios de estado o como condicionantes de alarma.

#### 2.3.1.2.1 DÍNAMO

Es la encargada de medir la velocidad que lleva cualquiera de los tres ejes que dispone el NEO-PEUI X, aunque únicamente nos es necesaria la supervisión de uno de ellos puesto que los demás se obtienen con una relación de transformación, no obstante la colocación de la dínamo es posterior al electro-freno en el eje del generador 2 (30kW).

El sensor es un motor de corriente continua, que no especifica su tipo en las hojas de características, pero con únicamente dos terminales de conexión y una constante de velocidad fija indican que es de imanes permanentes puesto q el flujo es constante.

Este generador es el modelo MAXON F2140 que contempla una amplia gama de velocidades de trabajo y tensiones, para este proyecto nos es interesante la zona de 0-10V en los extremos 0-1580rpm que va a trabajar el aerogenerador, por lo tanto, teniendo en cuenta que la entrada sería de alta impedancia el generador va a trabajar casi como en circuito abierto, manteniendo la tensión de la fuerza contraelectromotriz en la salida. Tras los cálculos pertinentes se ha obtenido que el motor apropiado para nuestro propósito es el de numeración 937 con una constante 173 rpm/V que generará algo menos de 10V a 1730rpm.

Para la transmisión de esta señal a lo largo de los 12m tal y como se ha declarado anteriormente se enviará la señal tras una conversión 0-10V → 4-20mA mediante un convertidor de la marca KRENEL de montaje sobre rail DIN que debe ser debidamente montado por los operarios en la góndola en un lugar que no cree molestia alguna a la acción generadora ni a la holgura de los cables. El dispositivo convertidor necesitará una alimentación de 24V DC con una potencia máxima de 1W, procedente de la fuente del autómatas CPS 2000, y ascendiendo únicamente el terminal positivo junto a las demás alimentaciones unidas por bridas, se puenteará el terminal negativo de la señal a la masa del sistema CPS 2000 disponible en el bornero de alimentación en la sección masa, tal y como indica el plano 5.2.5.5 *Alimentaciones*.

Así pues el par de corriente descenderá por el cable multipar de señales y se conectará como el resto de dispositivos al puerto correspondiente, en este caso canal 2, cuyo terminal positivo irá al I12 (pin 7) y puenteados el V12 (pin 9) y cuyo terminal negativo irá conectado al COM2 (pin 8) que como se ha dicho va puenteados al bornero de masa del CPS 2000. Por otro lado el apantallado debe conectarse a la barra de masa a través de los anillos de apriete.

Tensión Nominal	24V	Constante de velocidad	173
Velocidad nominal	4110rpm	Resistencia interna	40Ω

Tabla con los valores característicos del sensor dinamómetro

### 2.3.1.2.2 TRANSFORMADORES DE INTENSIDAD

Estos dispositivos son los encargados de contabilizar la cantidad de corriente que transcurre por las líneas de potencia, tanto por los valores altos que indican subida de temperatura y/o cortocircuito como por valores bajos que pueden indicar un corte en la continuidad del circuito.

Simplemente unos transformadores de reducción de intensidad que trabajan por inducción magnética y que emiten una tensión 0-10V totalmente configurable gracias a una resistencia ajustable por tornillo. El número total de ellos es 3, por estar situado en la red trifásica y la elección de este dispositivo de la marca DWYER y en concreto de la sección LOVE es por amplio rango de corrientes nominales, que en nuestro caso es de 53A máx de generación por línea y por lo tanto tomo el de 60 (LTTJ 060) que es el valor más cercano superior y al que no se llega en ningún momento puesto que saltarían antes las protecciones.

Otra de las ventajas es que no necesitan alimentación y únicamente emplean un par para servir la señal, y puesto que las líneas de potencia entran al armario de control para ser controladas por los contactores, se dispondrán los trafos antes del contactor principal para que sea cual sea el generador usado se pueda medir la corriente, y esto con lleva la cercanía de la señal y la exclusividad de no usar la señal 4-20mA aunque si de hacerlo con un cable blindado.

Se dispone de tres pines de conexión a la salida del trafo correspondientes a las dos polaridades de tensión. La conexión en el armario de control al bornero del módulo 0810 se realiza como todos los demás sensores, para este trío en los canales 4, 5 y 6, tomando el terminal positivo en los bornes VI4, VI5 y VI6 (pin 15, 18 y 21) y dejando libres II4, II5 e II6 (pin 13, 16 y 19 respectivamente) como se especificó en el apartado de entradas analógicas, el terminal negativo irá a los puertos COM4, COM5 y COM6 (pin 14, 17 y 20) y los blindajes a los anillos de sujeción de la barra de masa.

### **2.3.1.3           CONDICIONANTES DE ALARMA**

Estos sensores únicamente son desencadenantes de procesos de alarma, puesto que no tienen cometido alguno en el proceso generador, son necesarios puesto que previenen averías mayores que incrementarían mucho el coste de la reparación.

#### **2.3.1.3.1           TERMOPARES**

Son los encargados de mantener “sanos” a ambos generadores ya que es bien sabido que uno de los principales factores de envejecimiento de estos son las altas temperaturas que incluso pueden fundir el devanado en casos extremos.

En este caso utilizaremos unas sondas termopar introducidas levemente en unas hendiduras en las carcasas de los generadores que ya portaban, manteniendo el estilo de sensorización.

El tipo de termopar usado es el T ya que es el de menor rango de temperatura (-270 a 400° C) lo cual supera ampliamente el rango de medida necesario (70-80°) y la cantidad de cable es muy pequeña, tan solo de 1m para cada sensor por lo tanto no importa mucho el precio de este elemento.

Este tipo de sensores basan su mediación en la diferencia de tensión en la unión entre dos metales diferentes según la temperatura, trabajando en el entorno de milivoltios, por lo tanto para el transporte de la señal a lo largo de la torre será necesaria la conversión a 4-20mA, y para ello se utiliza un dispositivo de la marca KRENEL que es compatible con nuestro tipo de termopar T, y que tiene un rango de operación -40 a 85° que satisface al nuestro, además gracias a 2 potenciómetros regulables de tornillo multivuelta con los que se le ajusta el cero y el máximo y que además realiza la compensación de unión fría que es necesaria para la medición tras la calibración del mismo que aparece en las hojas de características. Posee entrada de alta impedancia para una máxima captación de la tensión diferencial del termopar y necesita de tensión de alimentación 24VDC de un sólo hilo con 1W de máxima potencia para la salida en modo pasivo que se tomarán de la fuente CPS 2000. Serán necesarios pues 2 conversores para las dos sondas y colocarán en el habitáculo de la góndola sobre un carril DIN montado por parte del operario, junto al otro dispositivo KRENEL y sin que su disposición moleste a la holgura de los cables.

---

La distribución de los cables será la misma que en los demás sensores, por un lado irán únicamente las alimentaciones positivas unidas con bridas, y por otro en el cable multipar pasarán las señales, con una diferencia de los demás que es que como sólo utiliza uno de los terminales del par nos valdrá con un único par, que se utilizará para las 2 temperaturas, y que al llegar al armario se conectará al bornero del BMX AMI 0410 directamente el positivo del par al I10 (pin3) y puentado al VI0 (pin1), el negativo del par al I11 (pin 9) y también puentado a al VI1 (pin7), los terminales COM0 y COM1 (pin 2 y 8) serán llevados a la masa del CPS 2000 que situada en los borneros de alimentación negativa tal y como se expresa en capítulo 5 *Documentación*.

#### 2.3.1.3.2 SENSOR DE VIBRACIÓN

Este sensor es el encargado de detectar cuando las oscilaciones de la góndola son mayores a las normales durante situaciones de tormentas o averías de las sujeciones de la góndola con respecto a la torre.

Se ha planteado la sensorización por medio de un acelerómetro con adhesivo capaz de fijarse en cualquier superficie que en este caso será una de las paredes internas de la góndola.

El tipo de sensor es de la marca Hansford Sensor modelo HS – 102 – 100 55 06 para propósito general 100mV/g puesto que no se requiere precisión, y su salida es de tipo onda cuadrada para lo que nuestro propósito no está preparado, por lo tanto se ha añadido un filtro conversor especializado en sensor de vibración con salida 4 – 20mA y con una alimentación 24VDC, que linealiza la señal cuadrada según unos rangos a elección del modelo, que en concreto se denomina MC2 RD A 100 2 para nuestro propósito de aceleración 100mV/g y nivel 0 – 5g.

La tarea de cálculo de estas vibraciones es difícil puesto que depende de muchos factores y no se dispone de los medios necesarios, por ello se ha tomado la decisión de realizarlo como método de puesta a punto una vez esté montado el aerogenerador tomando un valor intermedio de vibración límite para el sensor de 5g, y que se ajustará con el generador 2 en marcha a velocidad alta (> 1530rpm) y de ahí se le añadirá un rango del 30% para protegerlo.

El conversor será montado en el mismo carril DIN que los demás conversores, atendiendo a la no obstrucción de los cables por ninguna de las partes, y según el esquema de conexión del plano 5.2.5.10 *Sensor de vibración*. Para la unión del sensor con el filtro conversor se realizarán unas soldaduras por parte del operario de montaje con cables de 1mm<sup>2</sup> de espesor al terminal del sensor y fijando con tornillos al otro extremo.

En cuanto al cableado de alimentación, ascenderá junto a los demás cables de alimentación desde los bornes del CPS 2000, y descenderán dos hilos de señal a través del cable multipar blindado hasta llegar al armario de control donde se unirá el terminal positivo a I13 (pin 10) puentado con VI3 (pin 12), y el hilo negativo a COM3 (pin11).

### 2.3.2 SERVOCONTROLADOR

El sistema elegido para la supervisión del giro de la góndola es el LEXIUM 05, el modelo más bajo de la gama pero que satisface ampliamente nuestros propósitos ya que es capaz de trabajar de un modo similar al plug&play con el software UNITY y permite la transmisión de datos bidireccionalmente como maestro y esclavo como ya se ha comentado en la sección anterior a través del protocolo CANopen.

Es capaz de trabajar en posición, velocidad y aceleración con un alto rango de precisión en 8bits ya que puede incorporar un encoder de la misma marca, que se obtiene como un pack, y que aquí se utiliza como sensor de posición conectado mediante un cable RS422, que ascenderá por la torre unido al cable multipar de sensorización.

LEXIUM dispone de sistema de protección de disparos indeseados y resistencias internas de frenado para realizar mejores paradas y mantener su posición, también gracias a los reductores planetarios GBX de la marca se aumenta el par de giro y se crea un mejor control de la posición, en este caso hemos elegido 1:40 el de mayor rango para que los movimientos sean suaves ya que la velocidad de giro máxima prefijada para el NEO PEUI-X es de 1 vuelta por minuto.

El pack se completa con un motor BSH de 1,4kW (tal y como usaba la antigua instalación) de total compatibilidad con el servo, que satisface el requerimiento de par gracias al ya nombrado reductor. Para todo el tratamiento de este servo, el dispositivo LEXIUM se conecta a 220V siendo capaz de suministrar 1,4kW y pudiéndose ampliar hasta 2,5kW pero no es necesario, puesto que la colocación del eje en vertical y el asentamiento e la góndola sobre rodamientos unido al reductor 1:40 reduce en gran medida la potencia necesaria.

*Nota: No se han podido realizar cálculos acerca del par necesario puesto que requiere un estudio mecánico profundo del cual no trata este proyecto, y además la empresa no lo ha solicitado. En todo caso la gama de motores BSH contempla una amplia gama de pares disponibles que seguro satisficará este propósito.*

Para la configuración de los parámetros internos de LEXIUM y facilitar esta tarea, el servicio técnico de Schneider Electric es capaz de enviar el dispositivo ya configurado con los parámetros característicos de conjunto motor-encoder, lo que elimina la compra del software POWER SUITE de configuración y supervisión de la gama de variadores y servos, y deja al dispositivo en condiciones de trabajo adecuadas.



Vista real del LEXIUM 05

---

Como podemos observar en la imagen se disponen de varias opciones en la parte frontal del hardware, tales como una pantalla BCD 7segmentos y algunos botones que nos permiten la programación de sus funciones aunque en nuestro caso no se usarán puesto que se hace vía software.

Una de las ventajas principales del uso de este tipo de servo y en concreto del pack LEXIUM+Motor BSH+Encoder propio+Reductor es la capacidad del sistema en auto-ajustar sus parámetros y sus contantes de regulación según la tarea a realizar (control de posición, velocidad y aceleración), evitando el problema de ajuste de los bucles de regulación y reduciendo el tiempo de prueba y puesta a punto.

Otra de las funciones que dispone este servo y que resulta idónea para nuestro propósito, es el control manual (JOG) que posibilita el movimiento del motor en ambos sentidos pulsando uno de los dos botones de dirección para cada una de ellas o la posibilidad d ese control a través del programa UNITY que incorpora esa función. Este ejercicio se realiza mediante el autómeta usando los pulsadores del cuadro de mando para el giro a derechas o izquierdas que se describe íntegramente en el punto 4.2.3 *Modo manual* de la descripción del programa de control del NEO PEUI-X. Otra función interesante es la de toma de origen, cuyo uso particular en el aerogenerador se describe mas adelante y que consiste en la memorización del punto de origen para realizar movimientos relativos o absolutos en relación a ese punto.

El montaje del servo se realiza en carril DIN, para lo que viene ya dotado de sujeción especial, y se respetarán los márgenes de espacio colindante para la extracción de calor necesaria tal y como se refleja en las hojas características (superior y laterales 5cm e inferior 20cm). La conexión al PLC se realizará a través del cable de bus CANopen con conector SUB-D con referencia VW3 M8 204 R15 (1,5m). Y se le atornillará una placa de conexión de masas de blindaje, con tronillos M5, que se adjunta con el hardware junto con unas abrazaderas para los cables, que deberán ser pelados en correspondencia con la anchura de las mismas.

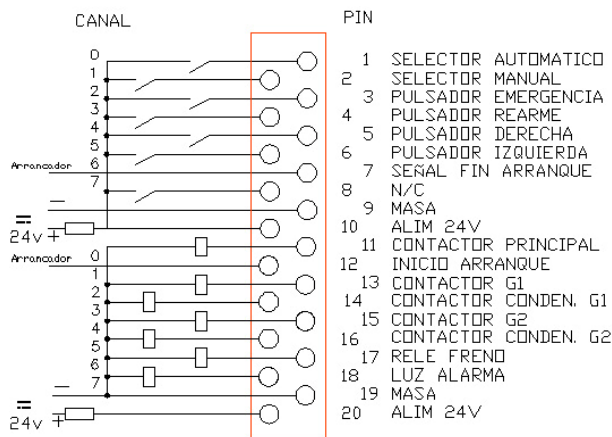
La distribución del cableado y esquema circuital de conexión viene esquematizado en el plano 5.2.5.4 *Lexium*, haciendo referencia a la alimentación, comunicación, sensorización y potencia adyacente al servo. La distribución de la subida a la góndola se detalla en el punto 2.3.3 *Transmisión de señales y alimentaciones*.

### **2.3.3 TRANSMISIÓN DE SEÑALES Y ALIMENTACIONES**

En este apartado se aborda un resumen de las conexiones y las transmisiones armario – torre – góndola para facilitar la tarea de comprensión de este propósito.

#### **2.3.3.1 DIGITALES**

En la parte de control se dispone de 15 señales digitales y todas ellas transcurren en interior del armario de control, se usará cable de 1,5mm<sup>2</sup> para conectar el borne del modulo 16022 con el captador/actuador necesario según la siguiente tabla, que y ase mostró en el apartado de E/S Digitales, haciendo uso del bornero de alimentación del CPS 2000 para realizar las conexiones tal y como se describe en el plano 5.2.5.5 *Alimentaciones*.



Representación esquemática de la conexión del módulo 16022

### 2.3.3.2 SENSORES

En la parte analógica existen 9 señales y 9 canales que habrá que tratar por separado y que a continuación se describe:

Primero las señales que bajan de la zona de meteorología a través de un cable multipar de 2, con secciones de  $0,75\text{mm}^2$  y con blindaje común e individual para cada uno de ellos que irá conectado siempre a la barra de masa anclada al rack por medio de los tornillos de sujeción:

Anemómetro (Canal0 - 0810) desciende un único hilo a través del cable multipar 1 (par1.1) conectado a I10 (pin1) y puentado al V10 (pin3), el terminal COM0 (pin 2) va al bornero de masa del CPS 2000 (borne 2).

Será necesaria la soldadura de este terminal (par1.1) al conector de enganche tal y como se explica en la sección de este sensor.

Veleta (canal1 - 0810) descienden dos hilos a través del cable multipar 1 (par 2.1 y 2.2) conectándose el positivo a I11 (pin4) y puentado a V11 (pin6), el negativo se conecta a COM1 (pin5). También será necesaria la soldadura de este par a los terminales correspondientes del conector de enganche especificado en la sección veleta.

Las señales procedentes del interior de la góndola, descenderán en un cable multipar de 3, de las mismas características que el anterior,  $0,75\text{mm}^2$ .

Dinamo (canal2 - 0810) desciende 1 hilo a través del cable multipar 2 (par 1.1) y al igual que el anemómetro el hilo va conectado a I13 (pin7), puentado a V13 (pin9) y el borne COM2 (pin8) se llevará al bornero de masa del CPS 2000 (borne 4).

Vibración (canal3 - 0810) descienden 2 hilos por el cable multipar 2 (par 2.1 y 2.2) que se conectan con I13 (pin10) y puentado a V13 (pin12) para el terminal positivo y para el terminal negativo la conexión es a COM3 (pin11).



---

Termopar (canal 0 y 1 – 0410) descienden 2 hilos para el multipar 2 (par 3.1 y 3.2) que corresponderán a cada generador, conectando el par 5.1 a VI0 (pin1) y puentado a IIO (pin3) tal y como se hará con el par 5.2 a VI1 (pin7) y este también puentado a I11 (pin9). Los COM0 y COM1 (pin 2 y 8) se llevan a la masa del CPS para cerrar el circuito (borne 6 y 7 respectivamente).

Encoder ascenderá 1 cable RS422 de 12m separado de las demás mangueras puesto que es de tipo digital, que se unirá al sistema LEXIUM por medio del conector correspondiente.

### **2.3.3.3 ALIMENTACIÓN DE POTENCIA**

Aparte de estos cables multipar también ascienden una serie de alimentaciones de potencia, que irán abrazadas con bridas para una mejor operación y movimiento de las mismas, no existirá gran problema capacitivo puesto que la tensión es prácticamente constante pero se separaran los dos hilo de mayor potencia (18 y 20 W) por seguridad y temperatura, aquí se describen los constituyentes de este pack:

El anemómetro y la veleta necesitan 24VDC para su calefacción, usando en 18 y 20W respectivamente, conectados como se ha explicado en el punto de alimentación para la fuente externa de 120w, y en concreto a un regletero especial que amplía sus bornes a 4 para positivos y 4 para negativos, que subirán separados del resto del grupo de alimentaciones.

### **2.3.3.4 ALIMENTACIÓN DE SENSORES**

Para la transmisión de las alimentaciones y señales digitales 24VDC se ha dispuesto de un bornero especial para el positivo y la masa, formado por bornes multipunto de cuatro inserciones de la marca Weidmüller modelo WDU 1.5/ZZ, que en total sumarán 9 emplazamientos, 4 positivos y 5 de masa puentados entre los de la misma clase mediante unas clavijas especiales ZQV 2.5N/2 GE. Estos vendrán señalizados visualmente con pegatinas indelebles.

El anemómetro, la veleta, los convertidores de tensión – corriente de al dínamo y los termopares y el linealizador de señal de vibración necesitan una alimentación de trabajo 24VDC y de los cuales el anemómetro y los convertidores de temperatura y tensión únicamente necesitan terminal positivo, por lo tanto se enviaran 6 cables conectados al bornero positivo del CPS 2000 y 2 cables negativos unidos a tierra.

Aquí se deja presente una reseña de del cableado necesario para los sensores:

Anemómetro necesita un hilo (24VDC), Veleta 2 hilos (24VDC y masa), el convertidor de la dínamo 1 hilo (24VDC), filtro de vibración 2 hilos (24VDC y masa) y por ultimo los 2 convertidores de termopar 2 hilos en total (24VDC), todos ellos sin blindaje por ser alimentaciones y unidos por bridas a lo largo de su recorrido, y separándose los relativos al anemómetro y veleta en la zona de la posición de meteorología.

### **2.3.3.5 MOTOR SERVO**

En cuanto al cable del motor de orientación será un doble hilo blindado que se conectará a los terminales T1 y T2 del servo, y que ascenderán separados del resto de los cables puesto que tienen una frecuencia no baja y puede ser objeto de parásitos para otros cables.

### **2.3.3.6 PROTECCIÓN FRENTE A TORSIÓN DE CABLES**

Los cables que ascienden por el interior de la torre y llegan a la góndola están sujetos a torsión debido a la posición cambiante de ésta, en la antigua instalación se disponía de un sistema de detección de vueltas de la góndola que protegía en un máximo de 5 vueltas para cada sentido a los cables. En esta nueva instalación se controla vía software mediante el uso de direcciones absolutas por parte de la veleta y del encoder conectado al servo que generan un espacio de trabajo de 360° para una sola vuelta, y para lo que es necesaria la colocación fija de la veleta y el procedimiento de Set – up inicial (estas secciones se desarrollan en capítulo 4 *Programa*).

## **2.3.4 INTERFACE HOMBRE-MÁQUINA**

Para el propósito del control de las funciones de NEO PEUI-X, se ha dispuesto de la superficie frontal del armario de potencia como panel de control, en adición a unas pantallas vía software simulando el mando de control y características especiales tipo SCADA como seguimiento de variables, asistente de alarmas y supervisión de las líneas de potencia.

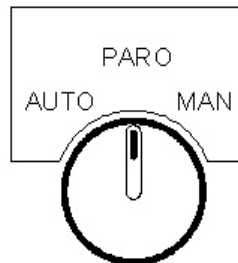
Se ha desechado la posibilidad de gestión vía web puesto que ello implicaba un amplio coste en el proyecto en relación a las posibilidades de maniobra en caso de fallos, puesto que en caso de alarmas con enclavamiento el operario de revisión debe acudir al lugar de instalación de todas formas. Bien en cierto que este atributo web hubiera servido de monitorización de las variables a distancia por parte de la empresa supervisora, mas el programa de control no lleva implícitos algoritmos de almacenamiento de datos sobre las variables, aunque está preparado para ello en posibles actualizaciones. En cualquier caso el sistema de interface hombre-máquina software se aborda en el punto 4.6 *Pantallas de operador*.

### **2.3.4.1 PANEL DE MANDO**

Todo sistema de control debe poseer un panel de mando con el que poder activar o no el funcionamiento de sus diferentes acciones principales, en este caso las de selección de modo, movimiento de la góndola, activación de alarma de emergencia, el rearme de los estados de alarma y la visualización de alarma existente.

Para este cometido el cuadro de mando se compone de 1 conmutador de 3 posiciones, 3 botones, 1 seta de emergencia y una luz roja, todos ellos de 22mm de diámetro, creando un interface sencillo y a la vez eficiente.

El conmutador de tres posiciones es un selector del modo de funcionamiento PARO, AUTOMATICO Y MANUAL, situado a la izquierda del panel y que está compuesto por un mando rotativo con retención que maneja dos contactos, uno para cada extremo, de manera que en la posición central ambos contactos están abiertos, e imposibilitando la situación de ambos modos a la vez. Al girar a uno u otro lado se cierra el contacto correspondiente haciendo llegar la señal digital al PLC que tomará las acciones pertinentes de cambio de modo o parada.



Vista del selector de modo

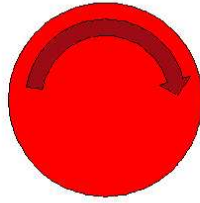
Para la acción de rearme tras una alarma (verde) y los giros de góndola correspondientes al modo manual (flechas de izquierda y derecha), se habilitan 3 botones sin retención que irán conectados al PLC por el módulo de entradas digitales para su tramitación vía software, y cuyo funcionamiento se detalla en la sus secciones pertinentes del capítulo 4.



Vista de los pulsadores el mando

Por seguridad el panel de control ofrece una seta de alarma de emergencia para uso del operario, con retención giratoria, que a diferencia de los demás objetos del mando de control si que tiene acción directa vía hardware, abriendo por medio de un contactor seccionador de 3 polos para las líneas de potencia generales de generación, así como 3 auxiliares para las dos fases (F – N) que llegan al servo para la alimentación de motor, además de llevar la señal 24VDC al PLC para que tome las acciones necesarias. Este contactor tendrá pues 3 polos principales N/C, 2 auxiliares también N/C y un tercero auxiliar N/A. Este apartado también queda descrito en el capítulo 5 *Documentación*.

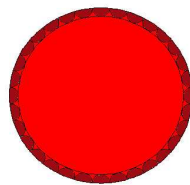
EMERGENCIA



Vista del pulsador seta de emergencia

El último de los ítems de este cuadro es un indicador luminoso de tipo LED color rojo, que se activará de forma intermitente al aparecer cualquiera de las alarmas del sistema hasta que esta haya desaparecido.

ALARMA



Esquematación del piloto alarma

# 3. Software

### 3 SOFTWARE

---

3.1	UNITY PRO	1
3.2	ENTORNO	1
3.2.1	MENUS ESPECIALES	1
3.2.2	BARRA DE ESTADO	3
3.2.3	ZONA DE TRABAJO	3
3.2.4	EXPLORADOR DE PROYECTOS	3
3.3	ESTRUCTURA	4
3.3.1	CONFIGURACIÓN HARDWARE	4
3.3.2	PROGRAMA	6
3.3.2.1	MÉTODOS DE CREACIÓN DE PROGRAMA	6
	1. LISTA DE INSTRUCCIONES	7
	2. TEXTO ESTRUTURADO	7
	3. DIAGRAMA DE CONTACTOS (LD, Ladder Diagram)	7
	4. DIAGRAMA DE BLOQUES DE FUNCIÓN (FDB, Function Block Diagram)	7
	5. LENGUAJE DE FUNCIÓN SECUENCIAL	10
3.3.2.2	TIPOS DE TAREA	13
	1. MAST	13
	2. FAST	14
	3. AUXILIAR	14
	4. PROCESAMIENTO DE EVENTOS	15
3.3.2.3	DATOS DEL PROGRAMA	16
3.3.2.4	COMUNICACIÓN	19
3.3.2.5	MOVIMIENTO	20
3.3.2.6	PANTALLAS DE OPERADOR	20
3.3.2.7	TABLAS DE NIMACIÓN	21
3.3.2.8	DOCUMENTACIÓN	21

## **3 SOFTWARE**

---

El software utilizado para la actualización del PEUI-10 es UNITY PRO en concreto la versión XL6 que es la más actual, y que es el configurador de programa del autómatas elegido M340 de la marca Schneider Electric.

### **3.1 UNITY PRO**

Este software es un potente programador y supervisor de los autómatas de la gama alta de Schneider que abarca desde el M340 para nivel medio, hasta los superiores Quantum y Premium, haciendo uso de las mismas funciones para los diferentes rangos de capacidades de gestión de E/S de cualquier tipo disponibles en los diferentes autómatas. Por lo tanto UNITY nos provee de una serie de funciones de nivel alto, tales como el uso de graficet de estados o la librería de movimiento para el sistema LEXIUM, que simplifican la tarea de programación y que en otros autómatas de nivel más bajo no están presentes conllevarían a un mayor tiempo de implementación del programa lo cual no es eficiente, puesto requiere muchas más horas de diseño y por tanto mucho más dinero.

A continuación se describen las ideas más importantes en relación a la tarea del proyecto, haciendo alusiones y breves explicaciones de las características globales del software.

### **3.2 ENTORNO**

UNITY PRO es un programa disponible para la plataforma y sistema operativo Windows, adaptado completamente a su entorno gráfico y a su metodología de trabajo en lo que se refiere a menús, acciones, visualizaciones etc.

La pantalla principal está compuesta por varias zonas principales: la barra de menús tanto de la familia Office (Archivo, Herramientas, Ver) como de otros específicos del programa UNITY que son los que pasaremos a explicar, las barras de herramientas que van cambiando según la función específica que usemos y que desarrollaremos según vayan apareciendo, la zona de estados en la parte inferior muestra los diferentes estados en los que se encuentra el programa y las conexiones con el autómatas, la zona de trabajo que se sitúa en la zona media a la derecha, y un explorador de proyectos en la zona izquierda, que es opcional, pero que nos genera una distribución de las partes del programa muy eficaz y que luego se expone.

#### **3.2.1 MENÚS ESPECIALES**

Como todos los programas específicos, éste incorpora funciones especiales que nos facilitan la tarea de programación de autómatas, como son la compilación asistida (Generación) y la simulación (normal o paso a paso).

### Generar

Al finalizar nuestro programa el software UNITY es capaz de compilar el programa para enviárselo al autómata, realizando un reconocimiento de todas las instrucciones, comprobando su coherencia y abriendo una ventana de comunicación llamada *visualizador de diagnósticos* en la parte inferior de la pantalla que nos muestra las comprobaciones y los posibles errores de programa proporcionando una breve aclaración del error y un enlace directo a ellos para su modificación. Si el programa ya estaba generado y se realiza alguna modificación, es posible generar únicamente estas con el menú *generar cambios*.

### PLC

Este menú nos permite a través del botón *conectar*, establecer la conexión con el autómata en modo normal o en modo simulación igual al que estaría con el autómata conectado, pero por supuesto sin ningún uso del mismo, y que nos permite comprobar la ejecución de nuestro programa sin la compra del hardware necesario, ello conlleva una serie de restricciones puesto que no se usan periféricos aunque están disponibles sistemas tipo entrenador para ello. Éste posee una barra de herramientas que siempre está presente y donde se encuentran los botones principales de acción.



Vista de la barra de herramientas PLC

Para la ejecución del programa, es necesario transferirlo al autómata, de modo que ambos programas (software y hardware) coincidan para que se pueda lanzar el mismo, este paso es bidireccional tal y como se explica en el apartado de memoria del autómata, el hardware es capaz de almacenar todo el programa en memoria interna y por duplicado en la tarjeta de memoria, y por lo tanto se puede transmitir en ambos sentidos, no siendo necesario portar el programa dentro del PC con UNITY. Al trabajar en modo conectado se trabaja con el programa presente en el autómata (en simulación o en real) siendo posible la modificación y la transferencia de éste al modo no conectado tras su confirmación después de pulsar el botón *verificar*.

Una vez se ha transmitido existen dos posibilidades, una es el funcionamiento normal y otra el modo punto a punto que facilita la tarea de reconocimiento de pasos indeseados en la tarea de al puesta apunto del programa de control, en cualquier caso al terminar de transmitir el programa, se llega al estado STOP que indica que todas las funciones están activas pero el programa es estático y no desarrolla ninguna de las acciones ni transcurre el tiempo. Para comenzar el programa se debe pasar a RUN que activa las acciones de las funciones y los tiempos de ejecución. Si estuviéramos con el autómata conectado en este modo ya podríamos soltar el cable de conexión USB y el hardware se quedaría funcionando.



Si queremos parar la aplicación se pulsa STOP y el programa quedará congelado, y si se vuelve a pulsar RUN seguirá desde donde lo dejamos. Si se desea salir del modo simulación o parar al autómatas existe el menú desconexión que lleva al estado de tratamiento del programa sin conexión.

### 3.2.2 BARRA DE ESTADO

Para la gestión del estado actual del programa y la comunicación con el autómatas el software UNITY presenta una barra de estado en la parte inferior, que muestra las condiciones presentes en el programa, tales como el modo simulación o normal, la dirección de transmisión, la generación o no del programa, la coherencia de programas en modo conectado entre otras de mayor complejidad.



Barra de estado en modo conectado STOP

### 3.2.3 ZONA DE TRABAJO

Otra zona muy importante es la de trabajo, donde se desarrollan las tareas de montaje del programa en todas sus vertientes, líneas de programa, selección de dispositivos, programación gráfica, pantallas de interface, etc. ofreciendo la posibilidad de trabajar en cascadas de ventanas gracias al entorno Windows, o en modo completo, usando pestañas en el aparte inferior para seleccionar la deseada.

### 3.2.4 EXPLORADOR DE PROYECTOS

Para la organización del programa, todas sus características y datos, se dispone de una ventana opcional pero de lo más recomendable llamada desde el menú ver o desde el botón correspondiente, que es el explorador de proyectos. Posee dos versiones de estructuración:



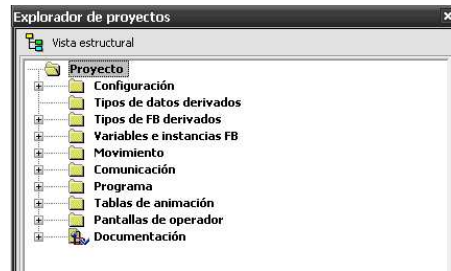
Vista del botón explorador de proyectos

Funcional

Permite crear grupos de funciones abrir secciones de múltiples tipos de programación y almacena la información según su uso.

Estructural

Separa todas las características según su procedencia y familia creando apartados de fácil comprensión y eficiente visualización y búsqueda, por ello es la que en este proyecto se ha usado y la que nos va a llevar por el recorrido de descripción del software.



Vista estructural del explorador de proyectos contraído

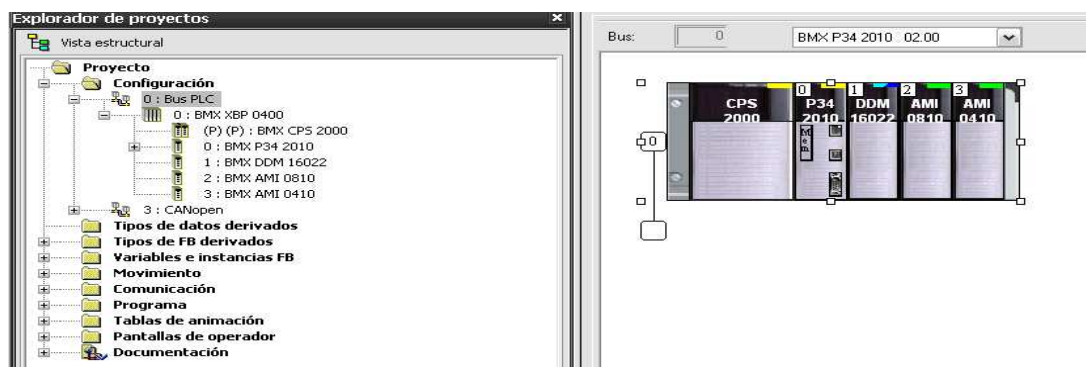
### 3.3 ESTRUCTURA

Se va presentar a continuación las diferentes partes del software siguiendo la estructuración del explorador de proyectos:

#### 3.3.1 CONFIGURACIÓN HARDWARE

UNITY está preparado para trabajar con los 3 autómatas de nivel superior de la firma Schneider Electric en la sección Modicon Telemecanique, todos ellos modulares de alto rendimiento y para los que se dispone un selector guiado al crear un nuevo archivo (llamado proyecto en el software y que no se usa en la descripción puesto que puede llevar a error), permite la selección de toda la gama de unidades principales y de módulos específicos cargada en la actualización presente en el PC.

Al finalizar este asistente el proyecto posee en el apartado de *configuración* un bus principal al que se le ha conectado el autómata y los módulos correspondientes, y los posibles buses de enlace según el CPU elegido.

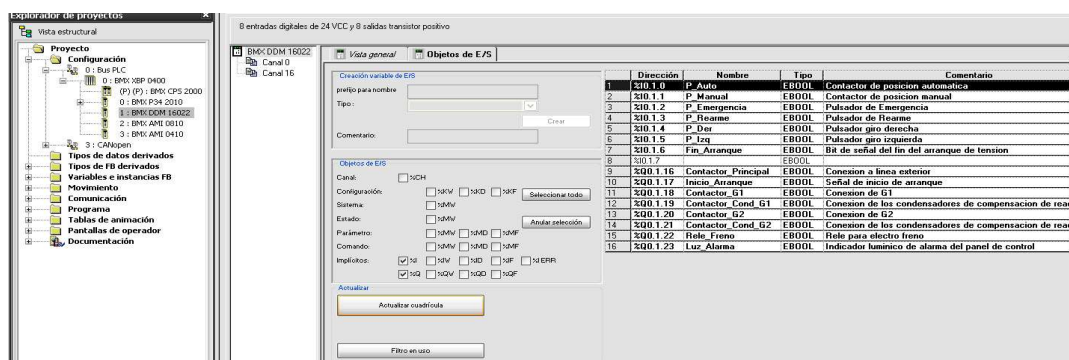


Vista del menú configuración desplegado y la ventana BUS PLC

Cualquiera de estos módulos (Alimentación, CPU, Específico) es intercambiable con doble clic sobre el deseado en la ventana de trabajo, apareciendo un menú con los módulos disponibles. También configurable la versión del mismo como por ejemplo cambiar la versión BMX P34 1000 por la que en éste proyecto se usa que es la 2010, tras lo cual el software realiza todos los cambios pertinentes a la modificación. También se dispone del botón derecho del ratón para desplegar las opciones de edición de módulos tales como eliminar, añadir (en una posición vacía), etc.

El asistente inicial no permite la inclusión ni de racks adicionales ni de sistemas especiales como el usado LEXIUM, para ello se dispone de una línea de comunicación bus de racks en la pantalla de trabajo de rack principal que al hacer doble clic lanza un selector de los mismos que al aceptar se añadirá en la pantalla. Para la inclusión de elementos de comunicación especial vía modbus, TCP/IP y/o CANopen se habrá creado al instalar su CPU correspondiente un bus adicional en el explorador de proyecto el cual seleccionaremos con doble clic, apareciendo un asistente de selección de estos dispositivos especiales, que se autoconfiguraran en modo plug&play a expensas de los parámetros deseados de tratamiento particular y la adjudicación de un nombre al esclavo generado que en este caso se hará en el punto *movimiento* del explorador de proyectos y que más tarde se explica.

Desde el menú de configuración del explorador de proyectos se accede a la edición de los parámetros de cada módulo, haciendo doble clic sobre el nombre del elegido a parametrizar, apareciendo una nueva ventana de trabajo para cada módulo seleccionado.



Vista de la configuración E/S del módulo DDM 16022

Para la parametrización de los módulos se dispone de varias pestañas según el modelo, pero en cuanto a nosotros nos influye únicamente aparecen 2 para los módulos DDM 16020, AMI 0810 y 0410, que corresponden a la vista general en la que se identifica al módulo, sus características principales y una explicación de su display de estado. Por otro lado la pestaña de objetos de E/S donde se puede visualizar todos los canales disponibles tanto de entradas (%I) como de salidas (%Q) y sus tipos de datos con sus diferentes vías de disponibles, como la de error de canal que se utiliza para los fallos de cada uno de los canales. También es posible la edición de los nombres y comentarios de los canales para realizar la tarea de programación de una forma mucho más intuitiva y adecuada al programa.

Además de estas modificaciones es posible direccionar cada sección del módulo hacia una tarea diferente (ver punto 3.3.2.2 *Tipos de tarea*), seleccionando el canal en un árbol que aparece a la izquierda de la pantalla de trabajo, y desplegando la pestaña inferior. Al seleccionar el canal correspondiente también aparece una ventana para algunos módulos, como el AMI 0810 o 0410 que permite la selección de la señal a tratar, en referencia a niveles de tensión y corriente y sus valores extremos y de error, esta función tiene la ventaja de crear rangos con conversión automática, puesto que crea una relación de transformación desde el formato binario a decimal que permite trabajar directamente con el valor real de magnitud a medir. La pestaña también ofrece un filtro frente a fluctuaciones que para según que sensores resulta muy útil. En otros módulos de salidas como el 16022, esta pestaña se usa para seleccionar el estado inicial de las salidas, forzándolo o reiniciándolo, tras un arranque en frío.



Vista de la edición de la escala del sensor analógico *Trafo\_1*

El dispositivo especial LEXUIM posee, además de las pestañas comunes de vista general y E/S, otras referenciadas a la parametrización de la acción que va a realizar, debiendo seleccionar de una lista de variables la/s q se deseen y añadirlas a la sección de entradas o de salidas en las que esta dividida esta pantalla, en nuestro caso se quiere leer la posición que dictará el encoder y también trabajar también en posición por lo tanto y como se representa en la siguiente imagen se cargarán las variables correspondientes al bus de control, que automáticamente asignará el software a las palabras correspondiente de la memoria localizada.



Vista de la configuración del bus CANopen en relación al dispositivo LEXIUM

### 3.3.2 PROGRAMA

En esta sección del explorador de proyectos es donde se almacena por completo las instrucciones del programa, quedando divididas según el método de introducción en diferentes partes y según el tipo de tarea a realizar. A continuación se describen con detalle las diferentes tareas y los métodos de introducción del programa disponibles en cada una de ellas:

#### 3.3.2.1 MÉTODOS DE CREACIÓN DE PROGRAMA

Existen cinco tipos de introducción de programa, de distintos niveles, basados en diferentes metodologías de programación, cada uno de ellos goza de instrucciones particulares y la mayoría de una base común. Debido a lo extenso que se puede hacer la descripción de todos ellos, únicamente se hace hincapié en los utilizados en el presente proyecto.

## 1. LISTA DE INSTRUCCIONES

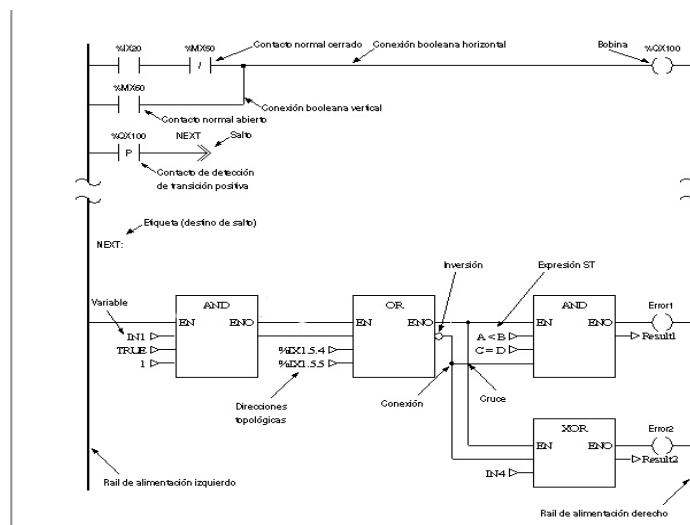
Es el lenguaje de menor rango, ya que representa el tipo de introducción de lenguaje de acumulador, muy parecido al código máquina que usan los microprocesadores. Se pueden llamar a un conjunto de instrucciones y funciones que actúan sobre el acumulador nombrado realizando el proceso seleccionado, es posible el uso de subrutinas, datos obtenidos en otra sección introducida en otro tipo de lenguaje, variables creadas y E/S de los módulos para realizar estas acciones.

## 2. TEXTO ESTRUCTURADO

Está un nivel por encima de la lista de instrucciones, puesto que opera de manera escrita, con instrucciones de tipo función y condicionales, además opera en sentido descendente. También es capaz de llamar subrutinas, datos de otras secciones y puertos de E/S.

## 3. DIAGRAMA DE CONTACTOS (LD, Ladder Diagram)

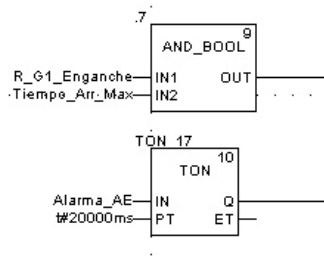
Éste lenguaje implica un salto cualitativo, pues su introducción de tipo gráfica, simulando contactos con variables de programa o E/S para realizar acciones capaces de combinarse con funciones. Se basa en la vieja lógica de contactos desde un terminal de alimentación (línea vertical izquierda) hasta un terminal de neutro (línea vertical derecha) llevando la corriente a cada punto según el contacto esté abierto o cerrado. La ejecución es de arriba abajo para cada sección y se realizará de manera cíclica, es decir cuando llegue al final volverá a empezar.



Vista de un ejemplo de diagrama de contactos

## 4. DIAGRAMA DE BLOQUES DE FUNCIÓN (FDB, Function Block Diagram)

Lenguaje de nivel alto con un gran número de funciones ya creadas para el software, que trabaja con bloques en los que no está a la vista el conexionado interior, únicamente la función a realizar. La lógica de secuenciación de los bloques es de izquierda a derecha y de arriba abajo, aunque se pueden conectar y distribuir en la pantalla de trabajo como se desee, si están conectados entre sí el software detecta automáticamente la secuencia lógica y los ordena, a pesar de ello se dispone de un sistema de ejecución con capacidad de numerar el orden de ejecución.



Vista de dos bloques de función

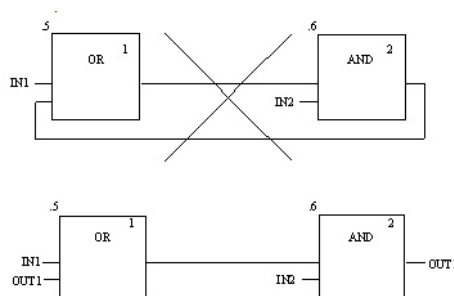
La metodología de funcionamiento consiste en captación de la/s entradas, procesamiento de la función y escritura de la salida/s.

Las entradas siempre se sitúan a la izquierda del bloque, con sus descriptores correspondientes a los que será posible introducir canales de E/S, bits de proceso mediante el nombre asignado, conexiones de otros bloques de función de esta u otra sección y datos literales (números decimales) según el tipo de dato para la entrada correspondiente, así pues si la entrada debe ser un valor booleano la entrada no admitirá un valor distinto a “1 o 0”.

Las salidas siempre están en la parte derecha, se podrán conectar a otros bloques a través de las entradas, y el tipo de dato resultante depende del tipo de función asignada al bloque, por ejemplo, un bloque de comparación de números posee dos entradas de tipo número y la salida es de tipo booleano puesto que únicamente indica la condición de comparación.

Para cada entrada y salida, es posible adjuntar una variable ya creada anteriormente o no, en cuyo caso UNITY abre una ventana de creación de la misma con el nombre asignado y el tipo correspondiente.

La conexión entre entradas y salidas se puede realizar mediante 2 métodos, el interconexión mediante líneas o la entrada mediante nombre de variables, que es usada para que los bucles entre bloques no creen un inconclusión a la hora de seleccionar automáticamente el orden de ejecución. Además se dispone de la opción *negar pin* para la inversión de entradas o salidas booleanas.



Ejemplos no válido y válido para bucles

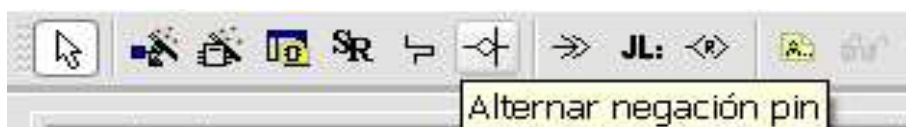
Existen varios tipos de bloques según su acción interna. Bloques simples cuyo valor en la salida para una misma entrada siempre es el mismo, por ejemplo una suma. Bloque de función fundamental, cuya salida no es siempre la misma para las mismas entradas, por ejemplo un comparador o un contador. Y por ultimo, bloques de función derivada DFB, que están creados por el usuario en cualquiera de los lenguajes menos en SFC, y que quedan disponibles en la biblioteca de bloques de proyecto.

Al insertar cualquier bloque, éste queda registrado como una *instancia* para el programa (consultar punto 3.3.2.3 *Datos de programa*), diferenciando por un lado los simples y fundamentales como elementales y por el otro las derivadas.

Es posible el uso de subrutinas que pueden ser llamadas desde las salidas de un bloque o usar sus retornos para las entradas de los mismos, que pueden estar creadas en este mismo lenguaje o en otros de menor nivel, lo que acelera la introducción de ejecuciones repetitivas.

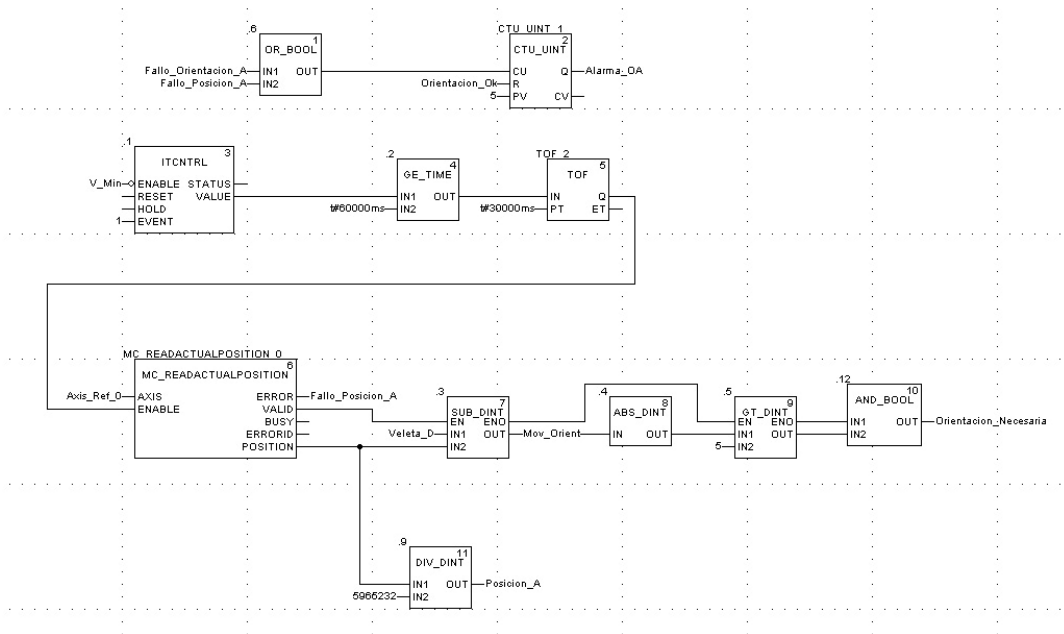
Todos los bloques disponen de una numeración particular situada en la esquina superior izquierda, que es lo que llama el programa instancia, para poder acceder desde cualquier otra sección de programa a las salidas de este bloque. Y de un identificación particular que hace referencia al lugar que ocupa en la ejecución de su sección correspondiente. Además se puede hacer visible unas patillas EN/ENO (Entrada/Salida) que sirven para habilitar la acción y para indicar que se ha realizado la función respectivamente, muy útiles para según que propósitos de tipo condicional.

Se dispone de una barra de herramientas especial FDB en la que aparecen el asistente de introducción, la función conexión, la llamada y vuelta de subrutina, la negación de pin y la introducción de comentarios, que completan todas las acciones posibles de este lenguaje.



Barra de herramientas FDB

Para asegurar que todas las conexiones son correctas el tipo FDB, incorpora un reconocedor de fallos que resaltan en color azul cuando existe una mala conexión, por parte del tipo de dato o por bucles, que asegura el reconocimiento visual del programador. Esto en adición al sistema de generación de proyecto que revisa todas las secuencias de tratamiento de datos.

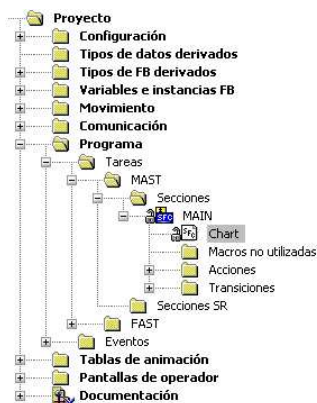


Ejemplo de sección FDB

## 5. LENGUAJE DE FUNCIÓN SECUENCIAL

Es un tipo e lenguaje gráfico, compuesto de estados por los que el programa va pasando según condiciones de variables, es conocido también con el nombre GRAFCET.

Se utiliza únicamente en la tarea MAST, puesto que es un secuenciador de estados en los que se programan las acciones correspondientes para cada una, y las transiciones de uno a otro. Estas acciones y transiciones se pueden programar en cualquiera de los demás lenguajes ya nombrados, y se almacenan por separado en una lista que cuelga de su sección SFC en el explorador de proyectos.



Posicionamiento de las acciones en el explorador de proyectos

La ventana de trabajo para este lenguaje está dividida en cuadrantes, los cuales solo pueden albergar un elemento gráfico, estos elementos son los que se describen a continuación:





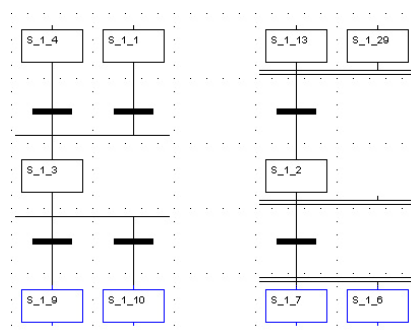
Existen también unos pasos especiales llamados pasos de macro que engloban una sección completa de graficet distinta, del mismo modo que una subrutina para un comando de instrucciones normal.

En todos los tipos de paso se dispone de los siguientes valores de posicionamiento en ese paso, que son tiempo total en el paso, tiempo de la última activación y un bit de estado activo del paso, que es útil para diferenciar operaciones que sólo deben ocurrir en un determinado paso o en varios pudiendo estar activa su acción en todo el proceso. Además se ofrece la posibilidad de ponerle un máximo de tiempo activo a cada paso a través del *whatchdog* haciendo saltar un bit de sistema para poder tomar las medidas pertinentes.

### Transición

Son las condiciones de cambio de un paso a otro, que se representan mediante unas barras horizontales entre dos pasos consecutivos, y que pueden estar asociados a una variable de tipo Boole o a una transición compuesta que puede ser programada en cualquiera de los lenguajes de menor nivel y se tendrá como salida final una variable booleana creada únicamente para esta transición. Todas estas transiciones compuestas se almacenan en la misma sección que el graficet colgando de él en el explorador de proyectos.

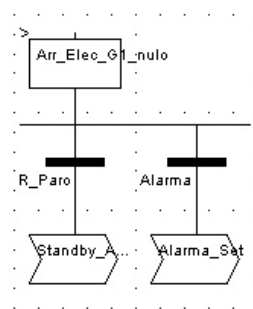
Al cumplirse la condición establecida de transición el programa abandona el paso correspondiente, activando el consecutivo. Es posible la puesta en paralelo de varios estados según diferentes transiciones existiendo la posibilidad de realización única (monotarea) o la de realizar varios pasos a la vez (multitarea) (para mayor información consultar el apartado de tarea MAST). Para monotarea se dispone de un conector de bifurcación de estados con transiciones diferentes llamado ramificación alternativa que lleva al programa al estado que primero cumpla su condición de transición, creando ramas paralelas independientes con la posibilidad de reunión por medio de las conjunciones alternativas que permiten la transición desde dos pasos diferentes si se cumple la transición de cualquiera de ellos que seé activo. Para multitarea se puede hacer uso de los anteriores o de los de ramificación paralela que gozan de una sola transición y divergen en dos o más pasos, dividiendo los caminos del programa que podrán reagruparse en uno o no a lo largo del graficet gracias a las conjunciones simultaneas que colocan una única transición para varios pasos que sólo se cumplirá si están todos los pasos previos activos, a modo de espera de llegada de varias vías de funcionamiento.



Ejemplos de ramificaciones, izquierda alternativas derecha simultaneas

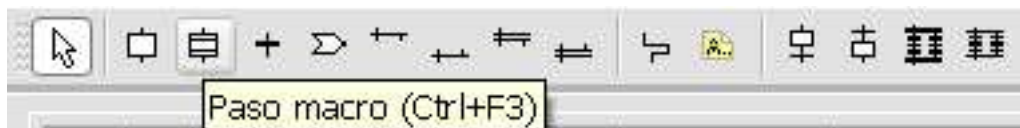
Estas variantes de bifurcaciones generan un amplio proceso de desarrollo del programa pues se pueden encadenar varias transiciones y generar varios puntos de trabajo que se mueve por el árbol SFC y que pueden sobrecargar al autómata de información, por lo tanto hay q cuidar mucho la utilización de este tipo de programas multitarea y en concreto de las ramificaciones simultaneas. Por ello no se utiliza en el presente proyecto, haciendo uso únicamente de la monotarea.

Existen también elementos para redireccionar la secuencia hacia otros pasos que no estén contiguos, siempre dentro de la misma sección, sino se les llama macro o paso a macro. Se simbolizan con una flecha del tamaño de uno de los recuadros con el nombre del paso objetivo, al cual le aparecerá una señal de llegada en forma de punta de flecha.



Ejemplo de paso de estado con ramificación alternativa y salto

Del mismo modo que el lenguaje de bloques, el SFC presenta su propia paleta de introducciones que permite la creación de los árboles SFC.



Barra de herramientas de introducción de SFC

Una vez explicados los diferentes tipos de lenguaje de programación pasamos a describir la estructura de programa, llamado tarea, junto con sus prioridades de ejecución.

### 3.3.2.2 TIPOS DE TAREA

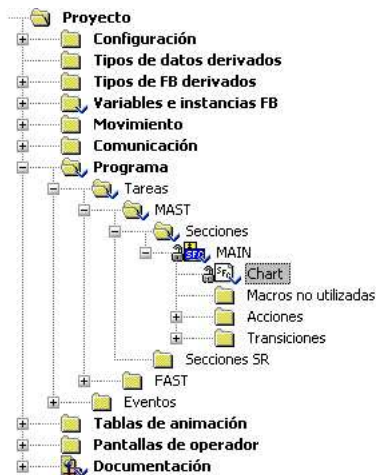
Las tareas del programa hacen referencia a la extensión y prioridad de acción, creando tareas muy amplias y baja prioridad y otras muy rápidas y prioritarias. En todo caso las diferentes plataformas (M340, Premium y Quantum) ofrecen diferentes tipos de tarea debido a la complejidad y potencia hardware.

#### 1. MAST

Es la tarea principal del programa y se crea de manera predeterminada en todos los programas, por lo que debe contener la sección más amplia del mismo que será la base de acción de todo el programa y a la que se acudirá siempre que no haya una tarea de mayor preferencia.

Está compuesta por secciones que pueden estar programadas en cualquiera de los lenguajes de programación descritos en el punto anterior, todas ellas totalmente autónomas a excepción de poseer datos cruzados entre ellas, que se ejecutarán en el orden prefijado visualmente en el explorador de proyectos y este es intercambiable arrastrando con el cursor. Estas secciones estarán formadas por ficheros con el icono del tipo de lenguaje en el que se han creado, y se podrán abrir con un doble clic sobre el nombre correspondiente.

También se adjuntarán las subrutinas utilizadas para las secciones de esta tarea MAST, colgadas de su carpeta correspondiente en el explorador de proyectos.



Almacenamiento de las secciones y subrutinas

La ejecución de esta tarea puede seleccionarse cíclica para que procese todo el programa y lo vuelva a lanzar desde el principio, o bien de manera periódica entre los extremos 1 - 255ms, sin mas que haciendo clic izquierdo en la carpeta MAST y seleccionando la opción deseada. Existe también la posibilidad de crear un *whatchdog* para el ciclo de esta tarea.

## 2. FAST

Es un tipo de tarea muy similar al MAST puesto que comparte la distribución de las secciones y subrutinas, a diferencia de que no se puede programar en lenguaje SFC.

Otra gran diferencia es que es de ejecución periódica en el rango 1 – 255ms, y de una única ejecución por periodo, por lo que no puede por lo que el tamaño del programa tiene que ser corto para evitar el rebasamiento de la tarea MAST. En nuestro proyecto no se usa debido a que no tenemos tal volumen de tareas y menos con prioridad cíclica para que cupieran en el marco de esta tarea.

## 3. AUXILIAR

Esta tarea es de tipo periódico al igual que la FAST, pero de propósito opuesto, de largo periodo entre una ejecución y la posterior, con tiempos de entre 10ms – 2.55seg son las de menor prioridad y sólo está disponible en las plataformas Quantum y Premium.

#### 4. PROCESAMIENTO DE EVENTOS

Estas son las tareas con mayor prioridad, pues detienen la ejecución de las demás al activarse, por lo que no deben implicar mucho periodo de tiempo, y se usa para la ejecución de acciones indispensables para el funcionamiento del programa. Su ejecución se denomina asíncrona debido a que no obedecen la periodicidad ni el ciclo de ninguna clase, al llegar el evento, se ejecuta la tarea. Están compuestas de dos tipos de eventos, cada uno de los cuales tiene una única sección que muestra la lista de acciones a realizar.

Eventos de temporizador: se activan mediante el bloque de función INTCNTRL de la biblioteca predeterminada de UNITY, que se puede incluir en cualquiera de las secciones de las demás tareas incluso de otra tarea de procesamiento de eventos, lo cual no es recomendable por el tiempo prolongado que ello supone.

Para crear el evento únicamente es preciso hacer clic derecho en la carpeta *eventos de temporizador* del explorador y seleccionar nueva sección de evento, a continuación aparece la ventana de creación donde se fijan los siguientes parámetros:

Parámetro	Descripción
Nº de temporizador	Numero asignado a ese evento para reconocerlo por parte del bloque INTCNTRL.
Lenguaje	Tipo de lenguaje de introducción.
Protección	Contra escritura o lectura.
Base de tiempo	Indica las unidades para los parámetros Preestablecer y fase.
Preestablecer	Nº de unidades de la base de tiempo entre ejecuciones consecutivas mientras el bloque INTCNTRL este activo.
Fase	Nº de bases de tiempo hasta poder realizar la primera ejecución del programa tras arranque en frío.

The image shows a dialog box for creating a timer event. It contains several input fields and dropdown menus:

- Número de temporizador:** A numeric input field with the value '3'.
- Base de tiempo:** A dropdown menu with '10 ms' selected.
- Lenguaje:** A dropdown menu with 'ST' selected.
- Preestablecer:** A numeric input field with the value '10'.
- Fase:** A numeric input field with the value '0'.
- Protección:** A dropdown menu with 'Ninguna' selected.

Tabla explicativa y ventana de la creación de eventos de temporizador

Eventos E/S: son del mismo tipo que los de temporizador con la diferencia de que se gestionan a través de módulos de contaje, activando este evento durante un único periodo.

En muchos casos a esta tarea se le asocian operaciones de alarma puesto que su activación es totalmente instantánea, para nuestro propósito no es necesaria tanta exactitud y no se usan de este modo, llevando a cabo el método de alarma a través de la tarea maestra y que en el capítulo 4 se describe con detalle.

### 3.3.2.3 DATOS DE PROGRAMA

El software UNITY posee una potencialidad de proceso muy alta, ya que es capaz de trabajar con numerosos tipos de datos propios del programa o creados por el usuario además de los provenientes de E/S con sus propias conversiones.

Existen pues multitud de datos que se deben clasificar para su tratamiento según su localización, su tipo, su formato y su nombre.

La clasificación inicial es por tipo de formato y se describe mediante la siguiente tabla:

Nombre	Descripción
BOOL	Bit (0 o 1)
EBOOL	Bit con almacenamiento de flancos
INT	Entero simple $\pm(2e^{15}-1)$ (16bits)
UINT	Entero sin signo $(2e^{16}-1)$ (16bits)
DINT	Doble entero simple $\pm(2e^{31}-1)$ (32bits)
UDINT	Doble entero sin signo $(2e^{32}-1)$ (32bits)
TIME	Tiempo en milisegundos $(2e^{32}-1)$ (32bits)
REAL	Valores entre $(-3,402824 e^{38})$ y $(-3,402824 e^{-38})$ para negativos y $(3,402824 e^{-38})$ y $(3,402824 e^{38})$ para positivos en 32bits
DATE	Valor de año (16bits), mes (8bits) y día (8bits) total 32bits
TIME OF DAY	Valor de la hora con minutos y segundos (32bits, 8hora, 8min, 8seg los últimos 8 se desechan)
STRING	Cadena de caracteres ASCII hasta 65.534
BYTE	Para la formación de conjunto de 8bits
WORD	Almacenamiento de palabras de 16 bits
DWORD	Almacenamiento de palabras de 32 bits

Formatos de datos a manejar por el software UNITY

Así pues, estos serán los formatos que deberán de utilizarse para el tratamiento de cualquier acción del programa, en cualquier lenguaje de programación, debiendo ajustarse entre ellos para poder operar, tal y como exigen los bloques de función FBD al colocar cualquier entrada o salida, para ello existen bloques e instrucciones que cambian de formato a formato y que facilitan la tarea de combinación entre ellos.

Otra clasificación posible es a través de la familia a la que pertenecen, existiendo 3 familias de datos principales según su cometido: Datos de usuario, datos de sistema y datos relativos al programa.

Los de usuario, que son creados por éste procedentes de módulos E/S, pasos y transiciones de SFC, diferentes acciones y subrutinas asignadas por nombres, nombramiento de bloques de función o bien creados en el propio programa para satisfacer las necesidades de comprensión de lo visualizado por parte del operario.

En cualquier caso si proceden de E/S los datos poseen dirección física, si son creados por el usuario esta dirección es asignable o no, haciendo que el autómata almacene en lugares fijos o variables respectivamente. La opción fija es recomendable si trabajamos en las secciones de programa por medio de direcciones.

Los de sistema son bits, palabras de estado y configuraciones del mismo que nos permiten modificar comportamientos del autómata a al par que nos muestran valores de tipo temporal y estructural para su uso en el programa. En nuestro caso no hemos hecho uso de ninguna de estas, aunque sería una buena opción en la supervisión de fallos el trabajar con los tiempos y fechas cedidas por el reloj interno del autómata.

Por último los relativos al programa aparecen de forma automática al crear diferentes partes del mismo, sin acción propia del usuario, pero que este puede usar en el curso del programa como datos normales, siempre de acuerdo a los formatos obtenidos. Algunos ejemplos son el bit de paso activo, la salida de un determinado bloque de función o los tiempos de ejecución totales o de última activación estos dos.

La última clasificación, que es la que usa el programa para separarlos en la carpeta *variables e instancias FB*, que contiene toda la información de los datos creados en el programa.



Carpeta, variables e instancias en explorador de proyectos

Existen otras dos carpetas de datos, *tipos de datos derivados* y *tipos de FB derivados*, pero ambas contienen información ya dada en la carpeta anterior, únicamente se usan para la creación de estos datos derivados.

Así pues, el programa distribuye a priori todos sus datos en variables elementales, variables derivadas, device DDT variables, instancias FB elementales e instancias FB derivadas. Todas ellas son visibles pulsando el botón *editor de datos* de la barra de herramientas servicios. A continuación se describen una a una las clasificaciones del programa:



Vista de la barra de herramientas servicios

## Software

### Variables elementales

Son las creadas por el usuario, de cualquier formato y localización, provenientes de E/S y de variables de proceso. Al abrir este punto en el explorador de proyectos realizando un doble clic, se abre la ventana editor de datos en la que aparece la lista de variables elementales junto con sus diferentes atributos, y cuya visualización es seleccionable mediante clic izquierdo y *personalizar columnas*.

### Variables derivadas

Son las resultantes de la programación SFC y creación de puertos especiales, y albergan en su interior los diferentes datos de los que puede disponer el programa. Así pues, en nuestro caso aparecen todos los pasos creados en el graficet junto con sus datos de tiempo y activación junto con los dos parámetros de comunicación del LEXIUM.

### Device DDT variables

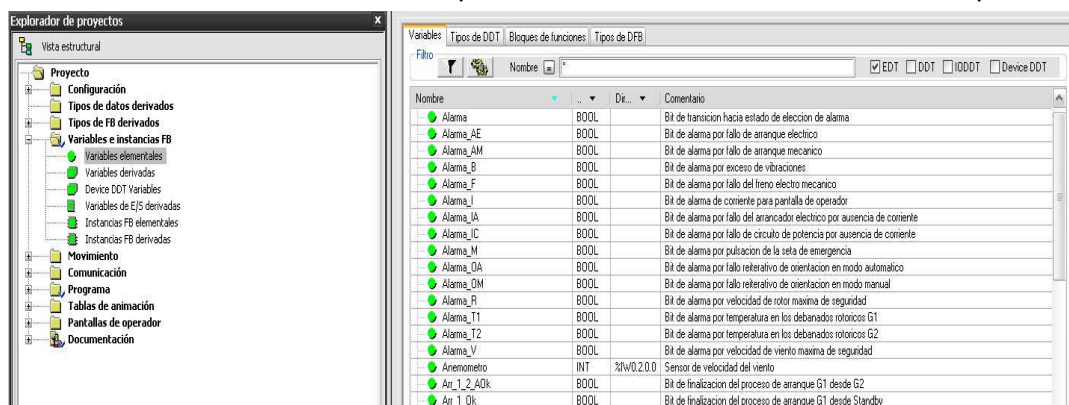
Son agrupaciones de datos más simples en forma de matriz para su trabajo de forma conjunta. En nuestro proyecto no se usan puesto que el volumen de datos no es tan prominente.

### Instancias FB elementales

Son la lista de bloques de función, tanto simples como elementales, utilizados en el proyecto, con su propia numeración para bloques repetidos, y que contienen la información de cada una de entradas y salidas.

### Instancias FB derivadas (DFB)

Son el conjunto de bloques de función derivados, es decir los creados por el usuario, que como el las elementales vienen numeradas y contienen la información de sus entradas y salidas.



Vista de la ventana editor de datos en su visión de variables elementales

Todo este conjunto de datos debe cumplir las condiciones establecidas por el programa para cumplir la norma CEI, tales como la utilización de signos de tipo Underscore para la nomenclatura siendo el primer carácter de tipo alfanumérico, además de la imposibilidad de tener dos datos con el mismo nombre aunque sean de diferente tipo, lo que posibilitaría fallos de localización por parte del programa.

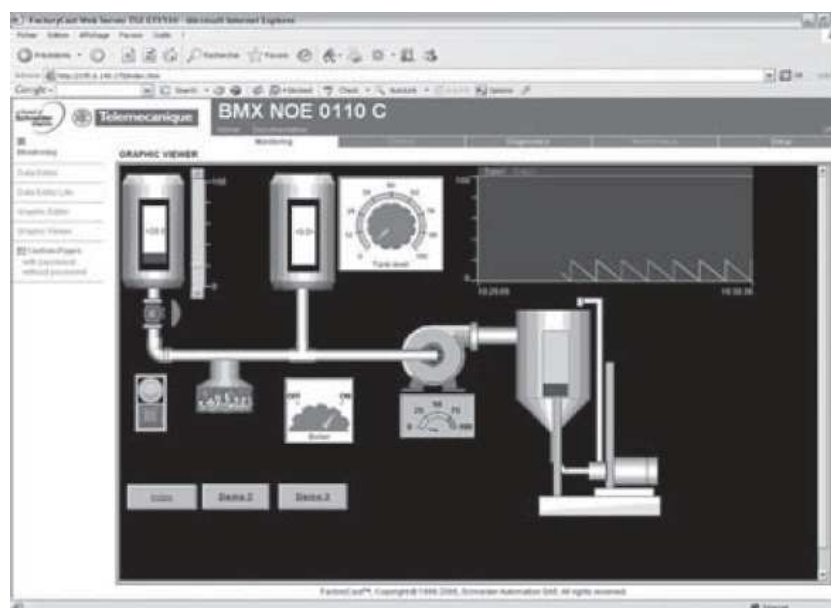


### 3.3.2.4 COMUNICACIÓN

En esta sección del explorador de proyectos es donde se establecen los diferentes canales de comunicación a través del puerto TCP/IP que las diferentes plataformas de automatización de la marca Schneider Electric.

En concreto para el M340 se ofrece la posibilidad de trabajar con 2 tipos de comunicación según las funcionalidades del módulo implicado en tal cometido, existiendo el puerto propio del módulo CPU y el módulo de comunicación dedicado a este protocolo de transmisión.

Ambos ofrecen la posibilidad de comunicación vía Ethernet con todas las ventajas que ello conlleva en cuanto a rapidez y fiabilidad para el intercambio de datos entre diferentes estaciones y la supervisión web. Esta supervisión es la que marca la diferencia entre las posibilidades de ambos módulos puesto que en el incorporado en la CPU únicamente ofrece la posibilidad de visualización del estado de los módulos mientras que el módulo dedicado NOE 0110 ofrece la posibilidad de crear pantallas de supervisión de variables mediante objetos gráficos y modificación de datos lo cual amplía muchísimo el abanico de posibilidades del control a distancia.



Vista de una pantalla de supervisión web tipo SCADA del módulo NOE 0110

Ninguna de estas opciones se ha contemplado en este proyecto puesto que la localización del aerogenerador sería en lugares remotos sin conexión Ethernet, habiendo decidido no usar conexión vía satélite de tipo móvil puesto que ello implica un aumento del coste total de la instalación si aunamos el modulo NOE 0110 con la instalación de conexión móvil.

### 3.3.2.5 MOVIMIENTO

En este apartado se crean y configuran los diferentes ejes que el programa va a controlar para los diferentes dispositivos de movimiento instalados, como son los módulos de movimiento o los periféricos, como por ejemplo LEXIUM.

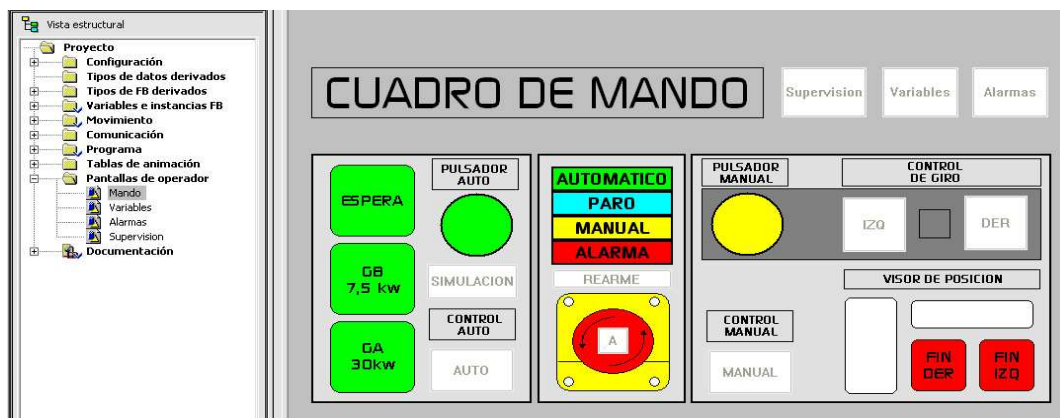
Se pueden crear tantos ejes como los dispositivos controladores sen capaces de manejar, y para ello basta con hacer clic derecho sobre la carpeta y pulsar eje nuevo, con ello aparece un asistente que permite configurar y nombrar a cada eje existente.

En la pestaña general introducimos en nombre, el tipo de controlador y su dirección. En *axis parameters* especificamos la numeración del controlador y versión del software disponible. Por ultimo tenemos la pestaña de variables *name* que nos permite nombrar el nombre del dato de eje y el de su comando de revisión de comunicación contra errores.

### 3.3.2.6 PANTALLAS DE OPERADOR

El software UNITY Pro ofrece un generador gráfico de comunicación con el operario para crear las llamadas pantallas de operador que se activan al transferir el programa a autómatas en modo estándar o en simulación.

Éstas pantallas permiten la creación de formas geométricas, textos y botoneras asociables a datos del programa tales como bits, valores de words y de puertos de E/S, a través de diferentes asociaciones y modos de muestra según se elija en el asistente, que permiten una supervisión bastante desarrollada según el nivel de complejidad que se le quiera asociar, puesto que se dispone de una biblioteca predefinida para algunas simbolizaciones hasta poder llegar a trabajar con pantallas de tipo secada, en las que esta presente en flujo bidireccional por medio de botones que gobiernan determinados bits.



Pantalla de operador usada en el proyecto

En nuestro proyecto se han usado varias de estas pantallas para ofrecer un interface hombre máquina muy completo, tanto en materia de control como de supervisión y revisión.

### 3.3.2.7 TABLAS DE ANIMACIÓN

Son tablas de datos creadas por el usuario para la visualización y modificación de los mismos en el modo conectado, bien en estándar o simulación, que permiten el manejo del programa a voluntad del operario.

Están disponibles dos funciones principales dependiendo del tipo de dato. Para valores procedentes de E/S de tipo Boole se ofrece el comando *forzar* que inhabilita la lectura de las mismas para establecer el bit al estado deseado, los datos procedente de módulos analógicos no es posible modificarlos. El otro comando es asociado a los datos creados por el usuario de tipo Boole y Word es *modificar* que permite el cambio de bits y palabras.

Nombre	Valor	Ajusta el valor a 1	Comentario
Alarma	0	BOOL	Bit de transición hacia estado de elección de alarma
Alarma_AE	0	BOOL	Bit de alarma por fallo de arranque eléctrico
Alarma_AM	0	BOOL	Bit de alarma por fallo de arranque mecánico
Alarma_B	0	BOOL	Bit de alarma por exceso de vibraciones
Alarma_F	0	BOOL	Bit de alarma por fallo del freno electro mecánico
Alarma_I	0	BOOL	Bit de alarma de corriente para pantalla de operador
Alarma_IA	0	BOOL	Bit de alarma por fallo del arrancador eléctrico por ausencia de corriente
Alarma_IC	0	BOOL	Bit de alarma por fallo de circuito de potencia por ausencia de corriente
Alarma_M	0	BOOL	Bit de alarma por pulsación de la seta de emergencia
Alarma_OA	0	BOOL	Bit de alarma por fallo relativo de orientación en modo automático
Alarma_OM	0	BOOL	Bit de alarma por fallo relativo de orientación en modo manual
Alarma_R	0	BOOL	Bit de alarma por velocidad de rotor máxima de seguridad
Alarma_T1	0	BOOL	Bit de alarma por temperatura en los debanados rotóricos G1
Alarma_T2	0	BOOL	Bit de alarma por temperatura en los debanados rotóricos G2
Alarma_Y	0	BOOL	Bit de alarma por velocidad de viento máxima de seguridad
Luz_Alarma	0	EBOOL	Indicador luminoso de alarma del panel de control
Paso_Alarma_A	0	BOOL	
Paso_Alarma_O	0	BOOL	

Vista de una tabla de animación en modo conectado y simulación del presente proyecto

### 3.3.2.8 DOCUMENTACIÓN

UNITY Pro es capaz de exportar a PDF o para impresión las diferentes partes del programa, realizando esquematizaciones, tablas y representaciones gráficas de todas sus partes.

Esta tarea se realiza mediante el menú *documentación* del explorador de proyectos, haciendo doble clic sobre el. Automáticamente se abre una ventana que contiene una distribución muy similar a la del explorador de proyectos y que contiene toda la información del programa. Basta con pulsar botón derecho sobre el documento deseado y seleccionar la opción *incluir en encabezado* para todas las que deseemos exportar en conjunto y de la misma manera se puede *excluir de encabezado*. Al incluir un documento se habilita la opción imprimir y vista previa, la cual nos resulta muy útil para las posibles maquetaciones de presentación.

# 4. Programa

4	PROGRAMA DE CONTROL	
4.1	DESCRIPCIÓN GENERAL	1
4.1.1	SET UP	2
4.2	MODOS DE OPERACIÓN	4
4.2.1	MODO PARO	4
4.2.2	MODO AUTOMÁTICO	4
4.2.2.1	FUNCIONAMIENTO NATURAL	5
4.2.2.2	FUNCIONAMIENTO ANÓMALO	8
4.2.2.3	ORIENTACIÓN AUTOMÁTICA	10
4.2.3	MODO MANUAL	10
4.2.4	MODO SIMULACIÓN	11
4.3	LISTADO DE VARIABLES	12
4.3.1	PUERTOS	12
4.3.2	INTERNAS	13
4.4	ACCIONES DE PROGRAMA	15
4.4.1	REVISIÓN DE VARIABLES	15
4.4.2	ACCIONES DE PROCESO	22
4.4.3	TRANSICIONES	30
4.4.4	EVENTOS DE TEMPORIZADOR	31
4.4.5	BLOQUES CREADOS	33
4.5	ALARMAS	34
4.5.1	ALARMAS DE NO-ENCLAVAMIENTO	34
4.5.1.1	ALARMA DE VIENTO EXCESIVO	34
4.5.1.2	ALARMA DE VELOCIDAD DEL ROTOR EXCESIVA	34
4.5.1.3	ALARMA DE TEMPERATURA G1	35
4.5.1.4	ALARMA DE TEMPERATURA G2	35
4.5.2	ALARMAS DE NO-ENCLAVAMIENTO	35
4.5.2.1	ALARMA DE FALLO DE CIRCUITO	35
4.5.2.2	ALARMA DE VIBRACIÓN	35
4.5.2.3	ALARMA DE EJE OBSTRUIDO	35
4.5.2.4	ALARMA DE FALLO DEL ARRANCADOR	35
4.5.2.5	ALARMA DE FALLO DE FRENO	36
4.5.2.6	ALARMA DE FALLO DE ORIENTACIÓN	36
4.5.2.7	ALARMA DE FALLO DE MODULOS	36
4.5.3	ALARMA MANUAL	36
4.6	PANTALLAS DE OPERADOR	36
4.6.1	MANDO	37
4.6.2	VARIABLES	39
4.6.3	ALARMAS	40
4.6.4	SUPERVISION	43
4.7	TABLAS DE ANIMACIÓN	44
4.7.1	PRESENTACIÓN	44
4.7.2	ALARMAS	44
4.7.3	ERRORES	44
4.7.4	MÓDULOS	44

## 4 PROGRAMA DE CONTROL

En el presente capítulo se va a abordar el desarrollo de la programación del autómatas BMX P34 2010 de la marca Modicon Telemecanique a través del software complementario UNITY Pro, adjuntando esquemas e imágenes que ayudarán a la comprensión del método de operación del sistema supervisión.

### 4.1 DESCRIPCIÓN GENERAL

La operación generadora requiere un sistema automático de gestión de los diferentes estados según las condiciones externas para lo que se ha provisto al sistema de módulos analógicos de sensorización que leen en acción continua los valores de esas condiciones. Así pues, el sistema reaccionará con respecto a esos elementos externos sin necesidad de que un operario o usuario tenga realizar ninguna acción una vez el sistema esté instalado y realizada la puesta a punto. No será el caso durante algunos de los estados de alarma ya que la máquina quedará parada para evitar posibles averías, y si no las hay en ese momento, evitar que se hagan mayores. Quedando a expensas de que el operario realice la operación necesaria para rearmar el sistema.

Se ha dotado también a este programa de la posibilidad de manejo a través de PC, con la conexión USB frontal del módulo principal, y desde donde se ofrecen las mismas opciones de mando que en el panel hardware situado en el armario de control y otras adicionales como las tablas de animación que permiten modificar cualquier variable del proceso para llevar al autómatas al estado deseado.

Tal y cómo la antigua instalación preveía, el NEO PEUI-X es susceptible de reparaciones en la torre y góndola, para lo que será necesario un paro manual que elimine cualquier acción automática además de poder direccionar la góndola en la posición que se desee. Este será el control manual, también disponible en pantallas de operador vía PC.

Con todas estas consideraciones se llega a la conclusión de que el programa tiene que tener 3 estados básicos: Paro-Automático-Manual, cuyos nombres hacen una gran similitud al tipo de control de orientación de la góndola que más adelante se desarrolla.

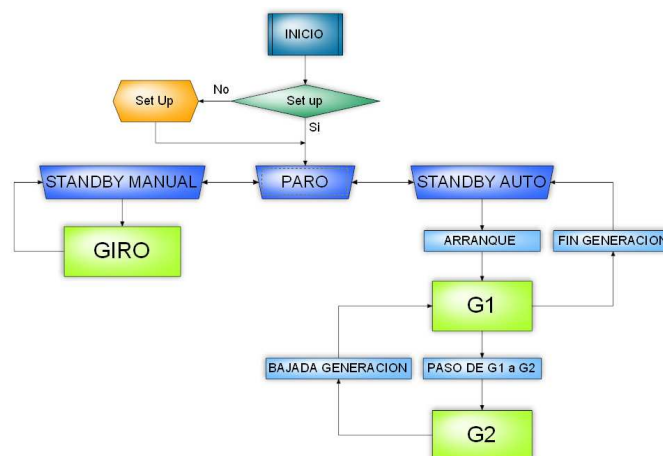
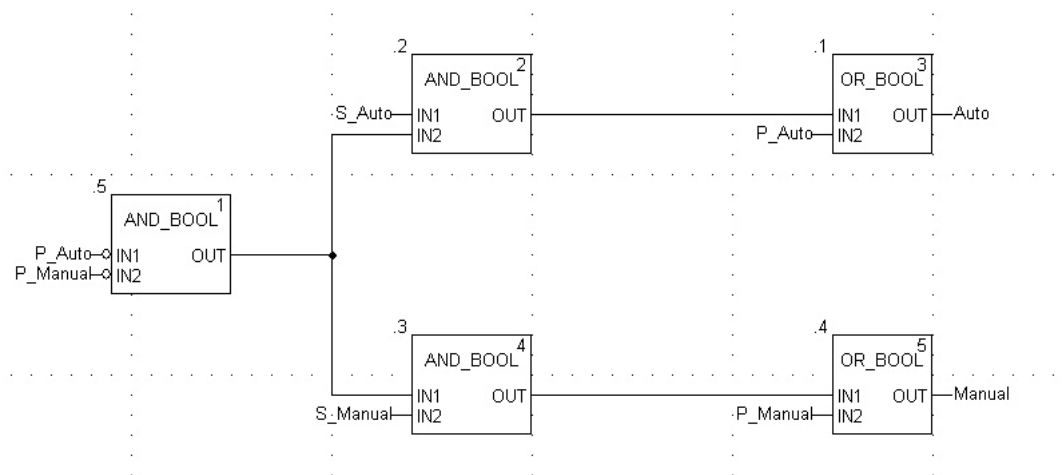


Diagrama de flujo del programa principal *Main*

Estos tres modos de funcionamiento se han colocado en la sección *Main* de la tarea MAST del programa a través de un SFC, que representa los estados por los que pasa el aerogenerador en todo momento.

El intercambio de un modo a otro es posible desde cualquier estado de ambos a excepción de los de anulación de arranques, en cuyo caso, hay que esperar a la finalización de este. La selección del modo se realiza en paralelo, vía hardware a través del selector del mando de control del armario, que envía el valor 1 por un canal de entrada para posición automático y otro para un canal diferente para manual, poniendo ambos a 0 en la posición de paro, y en segundo caso vía software mediante los botones correspondientes en la pantalla de operador *Mando*. Estos dos modos se gestionan mediante la acción *Modo* que da preferencia al hardware.



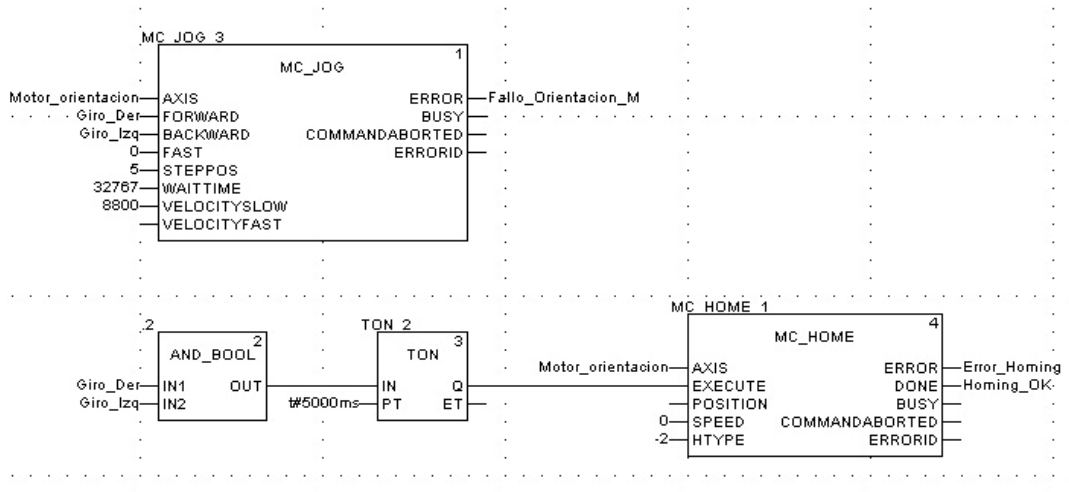
Vista de la acción *Modo*

Los datos de variables contenidos en esta ilustración se pueden consultar en el punto de listado de variables, únicamente reseñar que el prefijo *P* indica pulsador y el prefijo *S* software.

#### 4.1.1 SET UP

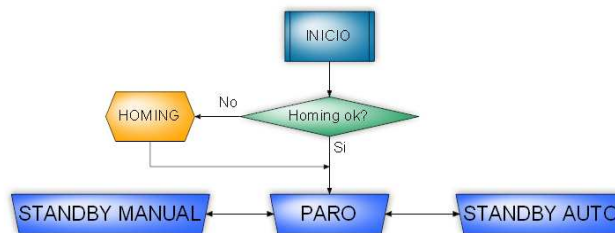
El movimiento de la góndola requiere un tratamiento especial puesto que es una parte esencial del intercambio de energía entre el viento y las palas, es necesaria la orientación correcta del eje generador, y para ello se ha usado el sistema LEXIUM en control de posición. El tratamiento de esta posición se realiza mediante dos modos, el automático y el manual, que representan los modos de funcionamiento principales y que se explican en cada punto correspondiente. Para que estos modos operen de manera correcta es necesaria la adquisición, por parte del sistema servo LEXIUM, del punto de referencia 0 sobre el que se desarrollaran los movimientos de la góndola en ambos modos, denominado *Homing*. Este punto de referencia se le indicará al servo mediante una acción en lenguaje FBD tras la transferencia y el inicio del programa una única vez gracias a un bit de consigna *Homing\_Ok* que proporciona el bloque especial del mismo nombre al finalizar la operación. Es posible su modificación volviendo a cargar el programa lo que hace reiniciar los estados de las variables modificadas.

El punto en el que debemos seleccionar la referencia, corresponde con la dirección en la que menos viento se haya detectado en los estudios eólicos previos, puesto que es un punto por el cual el sistema está programado a no realizar ningún movimiento de paso por encima, sí de estacionamiento, pero no de paso de las posiciones 1 a 360° y viceversa, por ello debe ajustarse al punto de menor uso. La razón es la protección de los cables frente a la torsión mediante el uso de una única vuelta de trabajo que delimita este paso por 0.



Vista de la acción Homing

La metodología de homing es la siguiente: al iniciar el programa los botones tanto hard como soft están activos gracias a la acción Puls\_Giro que los habilita, usaremos cualquiera de ellos para posicionar en el punto deseado a la góndola utilizando el bloque de función JOG de movimiento manual (consultar punto 4.4.2 Acciones de proceso ). La góndola se desplazará mediante movimiento suave en la dirección seleccionada y al soltar se parará con una pequeña distancia de frenado con la que habrá que contar para este posicionamiento, aún así es posible moverlo todo lo que se requiera. Una vez la góndola se encuentre en la posición deseada, mediante la pulsación durante 5 segundos de ambos botones de dirección en el cuadro de mando puesto que en el PC con el ratón no se pueden pulsar dos botones a la vez, se activa el bloque de función Home que almacena esa posición.



Flujo de transición del homing

Mediante la patilla de salida DONE se establece el bit Homing\_Ok que hace abandonar el estado de set up hacia el de PARO aun si seguimos pulsando los botones, que en ese modo ya no estarán activados. Éste bit queda guardado para sucesivos arranques en frío del autómatas que pasará directamente al estado de PARO.



## 4.2 MODOS DE OPERACIÓN

A continuación se describen los modos de operación existentes en el NEO PEUI-X, que se gestionan mediante los paneles de mando hardware y software.

### 4.2.1 MODO PARO

Este modo será un estado de reposo, en que no se realiza ninguna acción por parte del aerogenerador, pero que mantiene todas las revisiones de sensores y captadores en vistas de cualquier posible alarma de precaución, de mala operación por parte a de algún componente externo o de algún módulo funcional. También es el estado al que se llega tras la finalización de cualquier alarma, aunque automáticamente si esta seleccionado alguno de los modos adyacentes el programa accede a ese modo inmediatamente. En cualquier caso los modos *AUTO* y *MAN* están provistos de estados iniciales de stand-by.

### 4.2.2 MODO AUTOMÁTICO

Es el responsable de la acción generadora, pues engloba los dos estados de generación y por lo tanto es el modo natural de funcionamiento. Se encontrará operativo con el selector de modo automático hardware o bien software, como ya se ha comentado comenzará con un estado de stand-by en el que se incluyen retardos de las acciones de la orientación y arranque.

Posee tres estados que podríamos clasificar como duraderos, el de *Stand-by* donde espera a las condiciones externas idóneas, el estado *G1* correspondiente a la generación de la máquina de 7,5kW y el estado *G2* para la máquina de 30kW. El programa está diseñado para que en el paso entre uno y otro de estos estados, la acción no ocupe un tiempo mayor de 10min, y si lo hace, generando bits y contajes que al acumularse indicarán fallos de algún sistema de los implicados, tales como frenos, obstrucciones, etc.

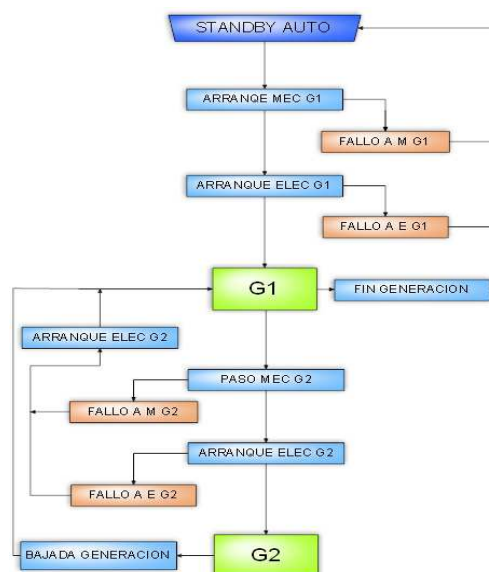


Diagrama de flujo del modo automático

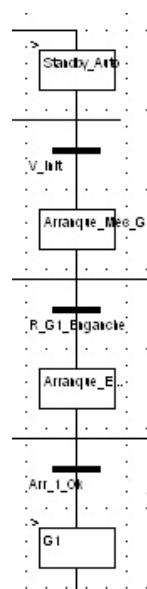
A continuación se describe todo el modo, tomando la dirección normal de llegada a ambas generaciones y la vuelta al estado de reposo por acción descendente del viento.

#### 4.2.2.1 FUNCIONAMIENTO NATURAL

El programa comienza activando el sistema de orientación automática, que posteriormente se explica, y leyendo los valores de viento que son los encargados de iniciar la secuencia de activación al estar por encima de 4m/s durante 10min consecutivos.

Tras esta consigna que genera el bit *V\_Init* se cambia de paso, al llamado arranque mecánico y denominado *Arranque\_Mec\_G1* que consiste en habilitar el movimiento por parte del freno y que hace que los ejes comiencen a moverse por acción del viento hasta que se alcanza la velocidad permitida para la conexión a red por la normativa, que es el 90% de la velocidad nominal de la máquina para evitar grandes picos de corriente, y que se ha tomado un rango mayor a este usando el 95% de esa velocidad que en concreto son 1347rpm, poniendo a 1 el bit *R\_G1\_Enganche*.

A partir de aquí el programa pasa al estado de arranque eléctrico 1 denominado *Arranque\_Elec\_1* donde se conectan los contactores principal y de generador 1, y se le da la orden de inicio al arrancador a través de la salida digital *Inicio\_Arranque*. Esta introducción de la máquina en modo motor ofrece un complemento de par que se suma al del viento existente, haciendo que la duración de este paso sea aun más pequeña para lo que se ajusta el arrancador a un tiempo corto en torno a los 10 seg. usando este valor para todos los procesos de arranque. Para la finalización de este arranque y la llegada al estado de generación *G1* es necesaria una condición doble, que se haya llegado a la velocidad correcta para la generación (*R\_G1\_Ok*) que es 1418rpm y que el arrancador haya devuelto la señal de fin de arranque (*Fin\_Arranque*) si ambas se cumplen se genera el bit *Arr\_1\_Ok* que lleva al programa al primer estado de generación conectando de inmediato las baterías de condensadores de reactiva necesarios mediante el *Contactor\_Cond\_G1* y eliminando los bit de arranque.



Vista del SFC desde Standby hasta G1

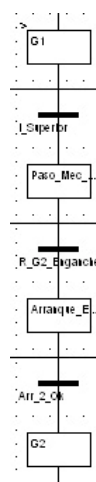
Tras esta subida de velocidad, el sistema queda otra vez en un estado estático, en el que puede permanecer un tiempo ilimitado mientras las condiciones eléctricas y meteorológicas lo permitan.

Si dado el caso, el viento continúa en aumento la cantidad de corriente generada también va en aumento, y si esta es la suficiente, el programa protege a la máquina G1 en su valor límite de 15A permitiendo una demora de 1min cuando se activa el bit *I\_Superior* que da paso al arranque de la máquina de mayor potencia G2.

Para el desenganche de G1 de la red, se abrirá el *Contactador\_G1* y el de condensadores *Contactador\_Cond\_G1*, dejando a la máquina con el rotor libre de pares de generación, por lo que la velocidad de este aumentará rápidamente si se dan las condiciones de viento necesarias. La máquina se encuentra en el estado de paso mecánico del generador 1 al 2 denominado *Paso\_Mec\_G2* a la espera de que el eje llegue a la velocidad adecuada para que entre el arrancador eléctrico tal y como lo ha hecho para G1 al 95% de la velocidad nominal con el bit *R\_G2\_Enganche* a 1425rpm y que se espera que alcance rápidamente por la proximidad de los valores de velocidad de rotor y la no presencia de par generador.

Una vez alcanzado ese valor comienza el estado de arranque eléctrico para la máquina 2 denominado *Arranque\_Elec\_G2*, que contiene las mismas características que su homólogo para G1 conectando el contactor correspondiente al G2 y lanzando la señal de inicio de arranque, únicamente cambia la consigna final de velocidad que ahora será *R\_G2\_Ok* con un valor de 1500rpm, y que pondrá a 1 el bit llamado *Arr\_2\_Ok*. Al cumplirse esta condición se llega al estado *G2* que conecta nuevamente las baterías de condensadores *Contactador\_Cond\_G2*.

Este es el estado de generación más potente del NEO PEUI-X, y es para el cual se ha diseñado principalmente según sus condiciones morfológicas y eléctricas. Si el viento continúa en aumento las velocidades del rotor también aumentan y la máquina generará mayor corriente hasta el valor nominal de 54A, para mayores a éste y un durante un tiempo prolongado esta protegida por dispositivos térmicos tanto a nivel circuital como a nivel del bobinado de la máquina, que junto con los niveles de alarma de velocidad y viento protegen a la máquina y a la instalación llevando al programa a la situación de paro y frenando por completo el eje (estas situaciones se describen en el apartado alarmas).



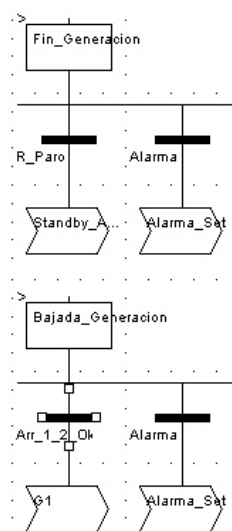
Vista del SFC desde G1 hasta G2

Siguiendo el proceso normal de acción, totalmente distanciado de los procesos de alarma, el viento llegará a descender lo suficiente para, bien llevar al eje por debajo de la velocidad de sincronismo de G2 ( $R\_G2\_Min$ ) cuyo valor es 1502 rpm o bien a que la generación de corriente sea inferior algo inferior al nivel máximo del generador 1 ( $I\_Inferior$ ) valorados en 13A. Si cualquiera de estos dos bits se ponen a uno, se abandona el estado  $G2$  iniciando de inmediato el paso  $Bajada\_Generacion$  que manda la acción de arranque eléctrico mediante la salida correspondiente e inmediatamente activa el freno para reducir la velocidad hasta una adecuada para la generación de la máquina 1 puesto que también se abren los contactores G2, lo que conlleva un golpe de par considerable, y en adición, se le conecta el contactor del generador 2 volviendo a realizar otro cambio brusco de par. Todo esto posteriormente a la activación del nombrado arrancador que es el primero que se activa y que suaviza todos estos intercambios.

Este paso es muy similar a los de arranque eléctrico y su condición final es del mismo tipo para valores adecuados tales como una velocidad inferior a la de enganche de G2, utilizando la negación de ese bit y la finalización del arranque, se pone a 1  $Arr\_1\_2\_Ok$  haciendo entrar en el estado  $G1$  que inmediatamente abre el freno y cierra el contactor de sus condensadores correspondientes.

Se ha llegado pues al mismo estado antes nombrado  $G1$ , con la capacidad de volver a aumentar la corriente y recorrer el arranque de G2 nuevamente todas las veces que las condiciones meteorológicas lo dispongan.

Ahora bien, si la velocidad del viento continua descendiendo puede llevar al eje a una velocidad inferior a la de generación ( $R\_G1\_Min$ ), el programa se adelanta también a éste suceso de manera que al descender la velocidad del viento por debajo de la consigna inicial 4m/s durante un periodo de 3 minutos consecutivos se asimila como que se ha acabado la condición de generación y se pone a 1 el bit  $V\_Min$ , que mediante una puerta OR, cualquiera de estos dos sucesos comentados llevarán al programa al paso de  $Fin\_Generacion$ , activando el freno y abriendo los correspondientes contactores a la espera de que se llegue a la velocidad nula de rotor  $R\_Paro$ , cuyo bit hace saltar al estado  $Standby\_auto$ .



Vista del SFC de los pasos  $Bajada\_Generacion$  y  $Fin\_Generacion$

#### 4.2.2.2 FUNCIONAMIENTO ANÓMALO

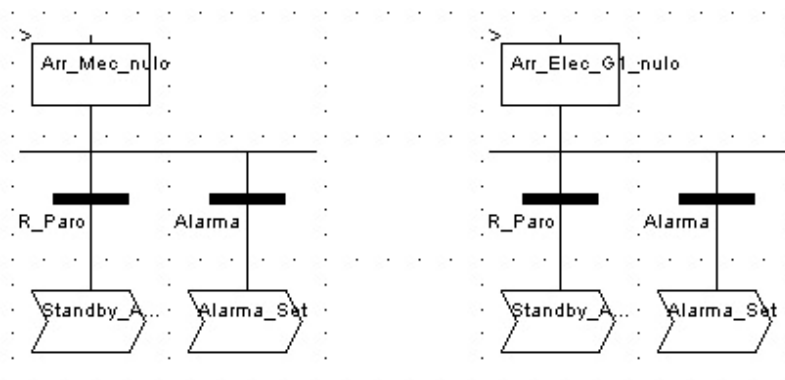
Una vez descritas las secuencias satisfactorias de desarrollo del programa principal, es este apartado se comentan y desarrollan los intentos fallidos de cambiar de uno a otro de los estados llamados estáticos.

Existen dos condicionantes principales para cada uno de los arranques, en todos ellos será el tiempo que tarda el sistema en realizar estos, unido a valores de variables de proceso como la velocidad del rotor o la intensidad y asociados, según en que estados, también a condiciones externas como el viento.

Existe la premisa de que los cambios entre dos pasos estáticos sólo pueden durar 10min (*Tiempo\_Arr\_max*) para lo que se lanza un temporizador al comienzo de cada uno de ellos por secciones, existiendo G1 (arranque mec. y elec.), G2 (mec. y elec.) y G1G2 (elec.), por lo tanto si cualquiera de estas secciones ocupa mayor tiempo se procederá a la cancelación de arranque correspondiente, revisando la variable implicada para determinar el fallo. A continuación se describen los condicionantes de la anulación y las revisiones de variables para cada paso.

El arranque mecánico G1 se anula al completar 10min si no se ha alcanzado la velocidad necesaria para el arranque eléctrico *R\_G1\_Enganche* 1347rpm. Llevando al programa al paso *Arr\_Mec\_nulo* donde activará el freno y se realiza la comprobación de la velocidad del viento, si esta se encuentra en los niveles que marca el bit *V\_Init* se almacenará un fallo de arranque mecánico que puede conducir, si se llega a tres consecutivas, a una alarma de eje obstruido. El paso espera hasta que se llegue a la velocidad de rotor nula *R\_Paro* para pasar al estado stand-by.

El arranque eléctrico G1, de la misma manera se anula al cumplir el tiempo máximo iniciado en el paso anterior, puesto que este arranque se espera de muy corta duración. Si se cumple el tiempo establecido se va al paso *Arr\_Elec\_G1\_nulo* en el que se abre el contactor G1 y principal, se activa el freno y una parte de la sección que comprueba que la velocidad siga estando por encima de la de enganche, y si lo está aumenta un contador de fallos de arranque eléctrico que puede conducir a una alarma de arrancador si se de 3 veces consecutivas. El final de éste paso lo dicta la llegada a la velocidad de parada *R\_Paro*.

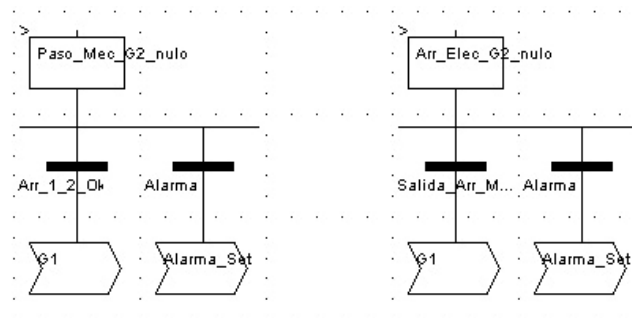


Vista de los pasos de anulación de los arranque de G1

Los arranques relativos al *G2* poseen la misma importancia que sus homólogos de *G1* pero la posibilidad de que ocurran es muy inferior, puesto que las velocidades de rotor ya son muy cercanas a las necesarias y al eliminar el par de generación a través de la desconexión estas aún aumentan en mayor medida. En cuanto a la metodología es la misma, aunque con la adecuación de los valores de revisión y con la premisa de que la anulación devuelve al programa al estado *G1* necesitado pues un arranque del motor para evitar los picos de corriente.

El paso Mecánico *G2* se anula tras los 10 min del bit *Tiempo\_Arr\_Max*, entrando en *Paso\_MecG2\_nulo*, donde se activa el freno y el arranque, se cierra el *Contactor\_G1* y se realiza la comprobación de que el viento es superior a un determinado valor tomado de la antigua instalación que es 7m/s mediante el bit *V\_G2*, si este bit está activo se almacena un fallo de arranque mecánico que al cometerse 3 veces consecutivas para el arranque *G2* provoca la misma alarma de eje obstruido que el de *G1*. En este caso se espera a que se haya terminado de arrancar (10seg) y la velocidad sea superior a la necesaria para la generación, mediante el bit *Arr\_1\_2\_Ok* con el que accederemos a *G1* cerrando el contacto de los condensadores y eliminando los datos de arranque.

El arranque Eléctrico *G2* se anula tras los 10min iniciados en el paso anterior, y conduce al programa hacia *Arr\_ElecG2\_nulo*, que activa el freno, abre el *Contactor\_G2*, inicia el arranque, cierra el *Contactor\_G1* y realiza la comprobación de la velocidad del rotor mayor a la de enganche *G2* cuya activación suma 1 al contador de fallos de arranque eléctrico *G2*, generando como los anteriores una alarma de arrancador al tercer fallo consecutivo. Este paso se queda a la espera del bit *Arr\_1\_2\_Ok* que lleva al paso *G1*, donde se cierra el contactor de los condensadores y se eliminan los datos de arranque. Es posible que el fallo de este arranque sea debido a un mal funcionamiento del arrancador, por lo tanto se añade una salida temporal de escape al paso de anulación, puesto que si el arrancador no emite la señal de fin de arranque el programa quedaría estancado en este paso de anulación, por lo tanto el bit que permite la transición hasta *G1* se denomina *Salida\_Arr\_MecG2\_nulo*.



Vista de los pasos de anulación de los arranques de *G2*

La explicación de la acción de arranque del programa se describe en el punto 4.4.2 *Acciones de proceso*, no obstante podemos indicar que al llegar al estado *G1* pone a cero el temporizador de arranque y se reinicia el contador de fallo mecánico y eléctrico de *G1* a través del bit *Arr\_1\_Ok*. Lo mismo ocurre en el caso de llegar al *G2* para el temporizador y para los contadores propios de este arranque con el bit *Arr\_2\_Ok*. No ocurriendo este aspecto para las bajadas de generación que poseen un temporizador especial de freno que también se explica en el punto de acciones.

Para una comprensión completa de este modo se recomienda consultar el capítulo 5 *Documentación*, en el que se adjunta un diagrama de flujo completo.

### 4.2.2.3 ORIENTACIÓN AUTOMÁTICA

Al entrar en el modo automático, se activa de modo continuo la acción Revisión\_OA que es la encargada de supervisar la necesidad de orientación de la góndola, y que se detalla en el punto 4.4.1 *Revisión de variables*, aquí únicamente se describe el funcionamiento para la comprensión del programa.

El método de supervisión es muy sencillo, si el viento es suficiente (4m/s) cada 4 minutos se revisa la diferencia entre la veleta y la posición de la góndola, si la diferencia es mayor a 5 grados, se activa el servo y coloca la góndola en esa posición. Este método permite que la góndola esté direccionada antes de que se comience la ejecución el arranque.

Todo este proceso se realiza a través de dos acciones, una de eventos de temporizador que se activa al detectar el viento y otra asociada a este temporizador que lee la posición actual de la góndola para decidir si se realiza la orientación o no mediante el bit *Orientacion\_necesaria*. Cada cuatro minutos el temporizador lee este bit y si está activo realiza el movimiento correspondiente.

El desplazamiento a realizar se obtiene de la resta del valor de la posición actual al valor de la veleta, dando como resultado valores de desplazamiento positivos para movimientos a derechas y valores negativos para desplazamiento a la izquierda, que LEXIUM es capaz de interpretar con el bloque MOV\_RELATIVE.

*Por ejemplo: la posición actual es 110° y la veleta indica 200° la resta de +90, que será la distancia recorrer por la góndola.*

Al entrar en cualquiera de las alarmas de enclavamiento, esta función queda anulada, y tras el rearme y la entrada en el modo automático se reactiva.

### 4.2.3 MODO MANUAL

Este modo se ha creado para posibles tareas de mantenimiento, en las cuales es necesario el posicionamiento deseado de la góndola, tal y como reflejaba la antigua instalación.

Es seleccionable mediante el panel de control hardware y software, como ya se ha descrito, con preferencia del hardware.

En el momento en que se entra en este modo, quedan inhabilitada cualquier opción de movimiento del rotor y por consiguiente de las palas, mediante el electro-freno. A la vez quedan operativos los mandos de control izquierda y derecha presentados en ambos paneles Soft y Hard, y que no son capaces de actuar de forma conjunta, es decir, sólo es posible la pulsación de uno de los 4 para la ejecución de movimiento manual.

Así pues, se entrará en el estado *Standby\_Manual*, que como ya se ha nombrado habilitará las botoneras y esperará a que se pulse una de las 4 mediante el bit *Giro\_On*.

Una vez pulsado, si se mantiene, la góndola entra en movimiento hacia el sentido indicado, con una velocidad de 1,25 rpm hasta llegar a 3 máximos permisibles, uno, 1 minuto de pulsación continuada que al cumplirse quedará parada. Dos, hasta llegar a los extremos posibles establecidos en 4 y 356 grados, debido a la protección frente a torsión de cable, que también parará el movimiento y además inhabilitará un nuevo movimiento en esa misma dirección. Tres, al pulsar dos botones a la vez se detecta como que no hay pulsación, con la consecuente parada.

Al soltar el botón, se vuelve automáticamente al estado de standby donde se espera de nuevo la señal de los botones. Es posible el cambio de modo únicamente desde este estado.

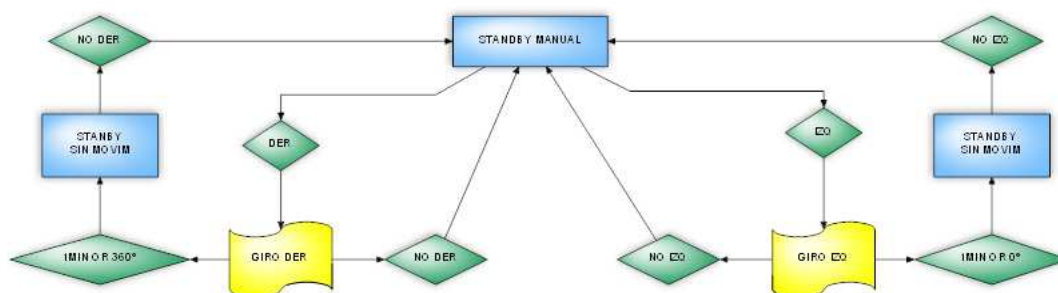


Diagrama de flujo del modo manual

Para la comprensión completa de este modo se adjunta en el capítulo 5 *Documentación* el diagrama de flujo completo.

#### 4.2.4 MODO SIMULACIÓN

Este modo ha sido diseñado en concreto para la simulación de la defensa del proyecto de fin de carrera, aunque bien podría usarse para posibles comprobaciones de actualizaciones de programa.

Consiste en la inhabilitación de determinados bloques de secciones, dejando inoperativas los bits que generan errores continuamente debido a la simulación sin periféricos.

La activación de este modo es a través del panel de operador Mando, mediante el botón simulación, y es necesario que esta pulsación se realice antes que el homing.



## 4.3 LISTADO DE VARIABLES

Se presenta a continuación un resumen de las variables utilizadas en el programa NEO PEUI-X, a través de unas tablas que recogen los aspectos más importantes así como los comentarios que las describen.

### 4.3.1 PUERTOS

Nombre	Dirección	Comentario
P_Auto	%IO.1.0.0	Contactador de posición automática
Error_Pauto	%IO.1.0.ERR	Error en la entrada el pulsador Auto IN_0
P_Manual	%IO.1.0.1	Contactador de posición manual
Error_Pmanual	%IO.1.0.ERR	Error en la entrada el pulsador Manual IN_1
P_Emergencia	%IO.1.0.2	Pulsador de Emergencia
Error_Pemergencia	%IO.1.0.ERR	Error en la entrada el pulsador Emergencia IN_2
P_Rearme	%IO.1.0.3	Pulsador de rearme
Error_PRearme	%IO.1.0.ERR	Error en la entrada el pulsador Rearme IN_3
P_Der	%IO.1.0.4	Pulsador giro derecha
Error_PGiroDer	%IO.1.0.ERR	Error en la entrada el pulsador Giro Der IN_4
P_Izq	%IO.1.0.5	Pulsador giro izquierda
Error_PGirolzq	%IO.1.0.ERR	Error en la entrada el pulsador Giro Izq IN_5
Fin_Arranque	%IO.1.0.6	Señal de fin del arranque de tensión
Error_FinArranque	%IO.1.0.ERR	Error en la entrada de señal del fin del Arranque de tensión IN_6
Error_ContactrPrincipal	%IO.1.16.ERR	Error en la salida del Contactador Principal OUT_16
Error_InicioArranque	%IO.1.17.ERR	Error en la salida de la señal Inicio Arranque OUT_17
Error_ContactoG1	%IO.1.18.ERR	Error en la salida del Contactador G1 OUT_18
Error_ContactadorCondG1	%IO.1.19.ERR	Error en la salida del Contactador Cond G1 OUT_19
Error_ContactoG2	%IO.1.20.ERR	Error en la salida del Contactador G2 OUT_20
Error_ContactadorCondG2	%IO.1.21.ERR	Error en la salida del Contactador Cond G2 OUT_21
Error_Freno	%IO.1.22.ERR	Error en la señal de Freno OUT_22
Error_LuzAlarma	%IO.1.23.ERR	Error en la salida del indicador lumínico de Alarma OUT_23
Error_Digital	%IO.1.MOD.ERR	Error en el modulo BMX DDM 16022 posición 1
Error_Anemometro	%IO.2.0.ERR	Error en la entrada del anemómetro IN_0
Error_Veleta	%IO.2.1.ERR	Error en la entrada del veleta IN_1
Error_Dinamo	%IO.2.2.ERR	Error en la entrada del dinamo IN_2
Error_Vibracion	%IO.2.3.ERR	Error en la entrada del sensor de vibración IN_3
Error_Trafo1	%IO.2.4.ERR	Error en la entrada del trafo 1 IN_4
Error_Trafo2	%IO.2.5.ERR	Error en la entrada del trafo 2 IN_5
Error_Trafo3	%IO.2.6.ERR	Error en la entrada del trafo 3 IN_6
Error_Analogico_1	%IO.2.MOD.ERR	Error en el modulo BMX AMI 0810 posición 2
Error_Termopar1	%IO.3.0.ERR	Error en la entrada del termopar 1 IN_0
Error_Termopar2	%IO.3.1.ERR	Error en la entrada del termopar 2 IN_1
Error_Analogico_2	%IO.3.MOD.ERR	Error del modulo BMX AMI 0410 posición 3
Anamometro	%IWO.2.0.0	Sensor de velocidad del viento
Veleta	%IWO.2.1.0	Sensor de dirección del viento
Dinamo	%IWO.2.2.0	Sensor de velocidad eje alta
Vibracion	%IWO.2.3.0	Sensor de vibración de al góndola
Trafo_I_1	%IWO.2.4.0	Corriente línea 1

Trafo_I_2	%IW0.2.5.0	Corriente línea 2
Trafo_I_3	%IW0.2.6.0	Corriente línea 3
T_G1	%IW0.3.0.0	Señal de temperatura del G1
T_G2	%IW0.3.1.0	Señal de temperatura del G2
Contactador_Principal	%Q0.1.16.0	Conexión a línea exterior
Inicio_Arranque	%Q0.1.17.0	Señal de inicio de arranque
Contactador_G1	%Q0.1.18.0	Conexión de G1
Contactador_Cond_G1	%Q0.1.19.0	Conexión de los condensadores de compensación de reactiva G1
Contactador_G2	%Q0.1.20.0	Conexión de G2
Contactador_Cond_G2	%Q0.1.21.0	Conexión de los condensadores de compensación de reactiva G2
Relé_Freno	%Q0.1.22.0	Relé para electro freno
Luz_Alarma	%Q0.1.23.0	Indicador lumínico de alarma del panel de control
Gondola_1		Variable de posicionamiento del servo

#### 4.3.2 INTERNAS

Nombre	Comentario
Alarma	Bit de transición hacia el estado de elección de alarma
Alarma_AE	Bit de alarma por fallo de arranque eléctrico
Alarma_AM	Bit de alarma por fallo de arranque mecánico
Alarma_B	Bit de alarma por exceso de vibraciones
Alarma_F	Bit de alarma por fallo de freno electro mecánico
Alarma_I	Bit de alarma de corriente para pantalla de operador
Alarma_IA	Bit de alarma por fallo del arrancador eléctrico por ausencia de corriente
Alarma_IC	Bit de alarma por fallo de circuito de potencia por ausencia de corriente
Alarma_M	Bit de alarma por pulsación de la seta de emergencia
Alarma_OA	Bit de alarma por fallo reiterativo de orientación en modo automático
Alarma_OM	Bit de alarma por fallo reiterativo de orientación en modo manual
Alarma_R	Bit de alarma por velocidad de rotor máxima de seguridad
Alarma_T1	Bit de alarma por temperatura en los devanados rotóricos G1
Alarma_T2	Bit de alarma por temperatura en los devanados rotóricos G2
Alarma_V	Bit de alarma por velocidad de viento máxima de seguridad
Arr_1_2_Ok	Bit de finalización del proceso de arranque G1 desde G2
Arr_1_Ok	Bit de finalización del proceso de arranque G1 desde Standby
Arr_2_Ok	Bit de finalización del proceso de arranque G2
Auto	Bit de paso para el modo Automático
Bucle1_out	Bit de realización de bucle luz alarma
Dis_sim	Bit de control de los bloques de función para la simulación
Error_Comunicacion	Bit de error en la comunicación con el sistema Lexium
Error_FinArranque_0	Error en la entrada de señal del fin de arranque de tensión IN_6
Error_Homing	Bit de error en la acción del homing

Error_S	Bit de englobamiento de cualquiera de los errores de los módulos
Fallo_Orientacion_A	Bit de contaje de error en la orientación para la aparición de alarma de orientación en modo automático
Fallo_Orientacion_M	Bit de contaje de error en la orientación para la aparición de alarma de orientación en modo manual
Fallo_Posicion_A	Bit de contaje de error la lectura de posición para la aparición de alarma de orientación en modo automático
Fallo_Posicion_M	Bit de contaje de error en la lectura de posición para la aparición de alarma de orientación en modo manual
Fin_Der	Bit de llegada al límite de giro a derechas en orientación manual
Fin_Izq	Bit de llegada al límite de giro a izquierdas en orientación manual
Girando_A	Bit de giro activo en modo automático para pantalla de operador
Girando_M	Bit de giro activo en modo manual para pantalla de operador
Giro_Der	Bit de giro a la derecha
Giro_Izq	Bit de giro a la izquierda
Homing_Ok	Bit de comprobación del set up
I_Inferior	Bit de corriente mínima para G2 y cambio a G1
I_Mediall	Valor medio de la corriente para la pantalla de operador
I_Superior	Bit de corriente máxima para cambio de G1 a G2
Luz_Alarma_Soft	Bit de activación de la luz de alarma vía software
Manual	Bit de paso para el modo manual
Mas180	Bit de indicación de posición mayor a 180º para posicionamiento de emergencia
Menos180	Bit de indicación de posición menor a 180º para posicionamiento de emergencia
Mov_Orient	Valor de la distancia a recorrer por el sistema de orientación en modo automático
Orientacio_Freno_mas180	Valor de la distancia a recorrer por el sistema de orientación en posicionamiento de emergencia en Angulo mayor a 180º
Orientacio_Freno_menos180	Valor de la distancia a recorrer por el sistema de orientación en posicionamiento de emergencia en Angulo menor a 180º
Orientacion_M_Ok	Bit manual de reinicio del contador de fallos de orientación manual
Orientacion_Necesaria	Bit de habilitación de la sección de orientación
Orientacion_Ok	Bit de giro correcto en modo manual y de reinicio del contador de fallos de orientación manual
Posicion_A	Valor de la posición en modo automático
Posicion_M	Valor de la posición en modo manual
R_G1_Enganche	Bit de velocidad de rotor para arrancar eléctricamente hacia G1
R_G1_Min	Bit de velocidad de rotor mínima de generación en G1
R_G1_Ok	Bit de velocidad de rotor adecuada para la generación en G1
R_G2_Enganche	Bit de velocidad de rotor para arrancar eléctricamente hacia G2
R_G2_Min	Bit de velocidad de rotor mínima de generación para G2
R_G2_Ok	Bit de velocidad de rotor adecuada para la generación en G2
R_Paro	Bit de velocidad de rotor nula
Rearme	Bit de coherencia del botón soft y hard de rearme

---

S_Auto	Bit de control software para el modo automático
S_Der	Bit de control software para el giro a la derecha
S_Emergencia	Bit de control software para el pulsador seta de emergencia
S_Izq	Bit de control software para el giro a la izquierda
S_Manual	Bit de control software para el modo manual
S_Rearme	Bit de control software para el botón rearme
Salida_Arr_MecG2_nulo	Bit de seguridad de salida para el arranque eléctrico G2
Simulacion	Bit de control del modo simulación
T_OK	Bit de vuelta a la temperatura correcta de trabajo
Tempo_Arr	Bit de inicio del temporizador de arranque
Tiempo_Arr_Max	Bit de sobrepasamiento del tiempo de arranque
V_G2	Bit de velocidad de viento esperada para paso de G1 hacia G2
V_Init	Bit de velocidad del viento necesaria para el arranque mecánico
V_Min	Bit de velocidad viento minima para mantener la generación G1
V_Ok	Bit de velocidad del viento segura tras alarma
Veleta_D	Valor de la dirección del viento del sensor veleta en formato DINT
Vis_Giro_On	Bit de visualización en pantalla de operario del estado ON del motor de orientación

#### 4.4 ACCIONES DE PROGRAMA

Como se ha visto la ejecución completa del programa unifica muchas consignas y bits que provienen tanto de variables E/S como de bits y valores internos que se generan en el programa, vistos en el punto 4.4 *Listado de variables*.

Para la gestión de todas ellas es necesaria la separación mediante acciones que se irán habilitando o deshabilitando según sean requeridas, y que se distribuirán por un orden lógico de agrupación según variables, procesos y necesidades.

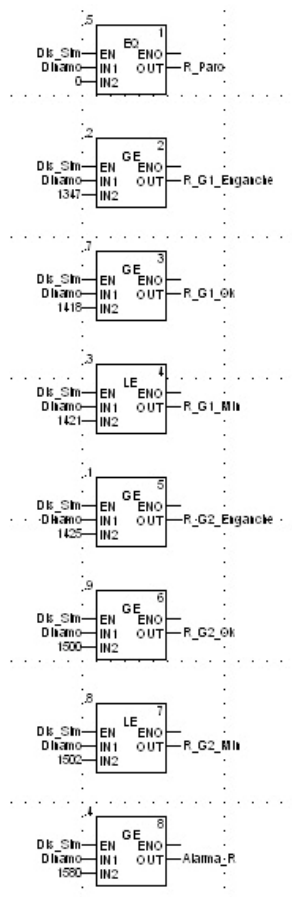
Todas las acciones presentes en este proyecto han sido generadas en lenguaje FDB, puesto que es el de mayor nivel y proporciona un amplio número de funciones además de una organización rápida, fácilmente modificable y eficiente.

##### 4.4.1 REVISIÓN DE VARIABLES

La supervisión inicial de cualquier programa requiere crear para cada variable analógica externa una serie de niveles y consignas para su tratamiento digital, así pues, nacen las revisiones de variables.

Revisión de la velocidad del rotor (*Revision\_R*):

Se encarga de leer el valor de la velocidad del rotor a través de la variable *Dinamo*, generando directamente los bits de proceso según va cambiando el valor, estos bits contienen la letra “R” al inicio a excepción de de alarma y son encargados de las diferentes transiciones del modo automático, de disparar la alarma de velocidad excesiva de rotor y de complementar la alarma de freno que mas adelante en el punto 4.5.2.6 *Alarma de fallo de freno* se expone, lo que lo hace estar presente en todo el programa.



Vista de la acción *Revision\_R*

La elección de los valores utilizados ha sido obtenida de varios parámetros, que vienen ponderados por la característica de relación de transformación entre ambas velocidades de los rotores de cada máquina, debido a la multiplicación que la correa de transmisión entre ellas ofrece y que la medida de este valor se realiza desde el eje del G2. El valor de enganche lo dictamina la normativa, que obliga a conectar a partir del 90% de la velocidad nominal en cada máquina, y que en este proyecto se ha aumentado al 95% (*R\_G1\_Enganche* y *R\_G2\_Enganche*). Los valores de generación se obtiene a partir de la velocidad nominal de cada motor junto con la relación de transformación ya nombrada de la correa, usando justo el valor para el sentido ascendente (*R\_G1\_Ok* y *R\_G2\_Ok*) y un valor de 2rpm superior para asegurar que la bajada se realiza desde la generación (*R\_G1\_Min* y *R\_G2\_Min*). El valor máximo permitido se establece en relación al máximo establecido por la antigua instalación.

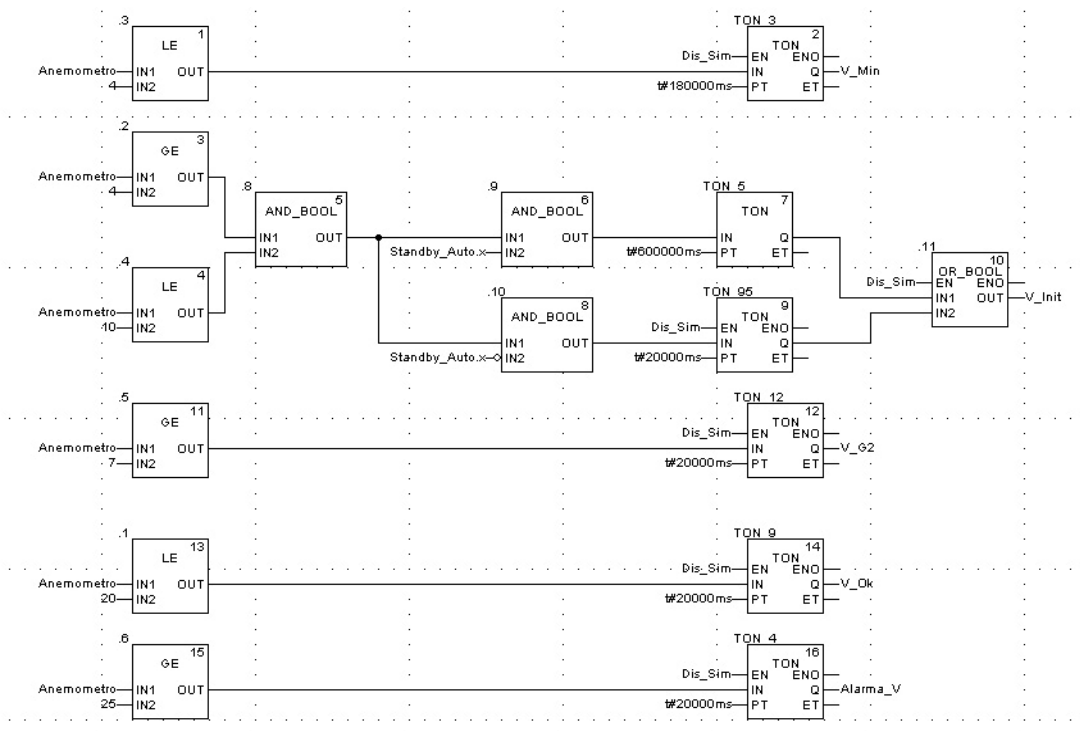
Esta acción posee un diagrama de flujo propio adjunto en el capítulo 5 *Documentación*, que representa las interacciones de esta acción con el programa completo.

Revisión de la velocidad de viento (*Revision\_V*):

Adjunta a la variable Anemómetro, esta acción lee el valor de la velocidad que lleva el viento, generando bits con diferentes metodologías de activación y que al igual que la revisión del rotor sus bits comienzan por la letra “V”, a excepción del bit de alarma. Se usa en el modo automático principalmente para comenzar el arranque inicial (*V\_Init*), aunque también para finalizar la generación 1 (*V\_Min*), comprobar el fallo de arranque mecánico 2 (*V\_Init*), y activar la alarma de viento fuerte a 25m/s(*Alarma\_V*).

Esta acción se desarrolla durante todo el programa puesto si existe viento fuerte, el autómata pasa al estado de alarma por viento hasta que este amaine por debajo de la consigna 20m/s.

El tratamiento de los niveles y activaciones de bits es temporal, aunque de diferente valor, puesto que por ejemplo, para salir de standby y comenzar a arrancar la velocidad del viento tiene que ser mayor a 4m/s e inferior a 10m/s durante 10 minutos para no realizar arranque innecesarios. Del mismo modo, tal y como se describe en el desarrollo del modo automático, durante la generación de la máquina 1 si el viento esta 3 minutos por debajo de 4m/s se considerará que ya se debe parar.

Vista de la acción *Revision\_V*

La ramificación central viene justificada por la necesidad de acceder al bit *V\_Init* tanto para el comienzo del arranque (10min) como por la comprobación del fallo del arranque mecánico nulo, y que con la condición de 10 minutos sería imposible que estuviera a uno puesto que el arranque solo puede durar 10min. Para ello se ha hecho uso de la variable interna que indica que el paso *Standby\_Auto* se encuentra activo, utilizándola negada para la comprobación del arranque y sin negar para el propio paso.

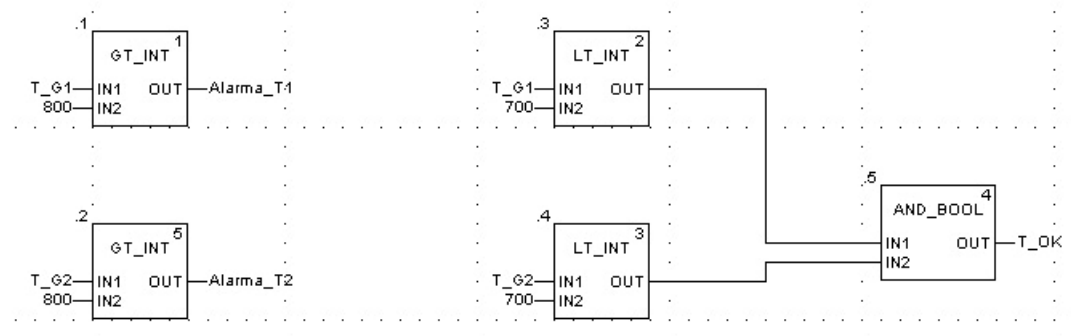
Para el resto de bits se ha tomado la determinación de usar un tiempo estándar de 20 segundos consecutivos para posibles fluctuaciones transitorias.



### Revisión de la temperatura (*Revision\_T*)

Es la acción encargada de la supervisión de la temperatura de los devanados estáticos de las máquinas generadoras, generando los bits de alarma tanto para activar como desactivarla.

Esta acción se activa a partir del paso susceptible de uso, que es arranque eléctrico G1, y se desactiva para la vuelta al standby desde cualquier modo, y al modo paro.



Vista de la acción *Revision\_T*

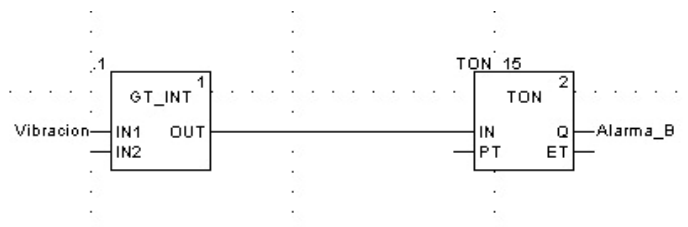
La temperatura superior a 80°C de cualquiera de los dos termopares, hace saltar la alarma (*Alarma\_T1* o *Alarma\_T2*) y si la temperatura esta por debajo de 70°C se activa el bit *T\_Ok* que unido al de rotor parado hacen salir al programa de la alarma.

Es posible la consulta de esta acción en el capítulo 5 *Documentación*.

### Revisión de la vibración (*Revision\_B*)

Esta acción recibe la sigla "B" debido a que la "V" ya estaba utilizada para una variable mucho más importante. Se encarga de supervisar las vibraciones existentes y enviar a alarma al sobrepasar un determinado nivel. Como ya se ha comentado este nivel está por fijar puesto que los estudios teóricos de vibración son arduos y costosos, se realizará un puesta a punto de este sensor, lanzando el programa y tras la llegada al punto de generación 2 tomar el dato que mide el sensor y añadirle en 30% en la consigna de alarma y un tiempo considerable en torno a 5-10 minutos (300000-600000ms) para dar veracidad al síntoma de avería o desajuste.

No obstante su propósito es proteger a la góndola de posibles desajustes de partes móviles de la misma, para lo cual, está presente en todo el programa.



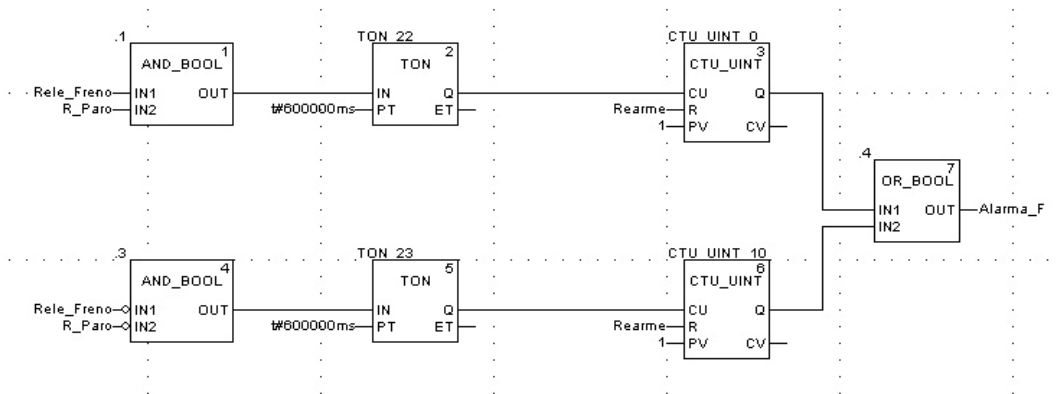
Vista de la acción *Revision\_B*

También se ofrece un diagrama de flujo de esta acción en el capítulo 5 *Documentación*.



Revisión del freno (*Revision\_F*):

Representa el correcto funcionamiento del electro-freno y su relé de activación, generando un bit de alarma si al activar el freno se detecta movimiento durante más de 10 minutos o viceversa, o si al desactivarlo no se detecta movimiento durante el mismo periodo. Esta acción está presente en todo el programa puesto que el freno puede llegar a fallar en cualquier estado, no debido a un corte eléctrico o de relé puesto que funciona de manera segura, es decir la corriente hace que se abra las palas de fricción, por lo tanto al faltar la alimentación este siempre frena, a no ser que estén desgastadas las zapatas, en cuyo caso el programa esta preparado para activar la alarma si en 10 minutos no ha parado.



Vista de la acción *Revision\_F*

Los contadores hacen que la alarma se mantenga activa puesto que al cambiar de paso para entrar en alarma se reiniciaban los datos de consigna. Estos contadores son reiniciados al rearmar el sistema, habiéndose tenido que revisar anteriormente los dispositivos implicados.

Se adjunta un diagrama de flujo en el capítulo 5 *Documentación*.

Revisión de la orientación automática (*Revision\_OA*):

Es la encargada de supervisar la dirección del viento y de indicar, a un evento de temporizador que es el que ejecuta el movimiento, que debe realizarlo. Esta acción esta condicionada al modo automático, tal y como se explica en el punto 4.2.2.3 *Orientación automática*.

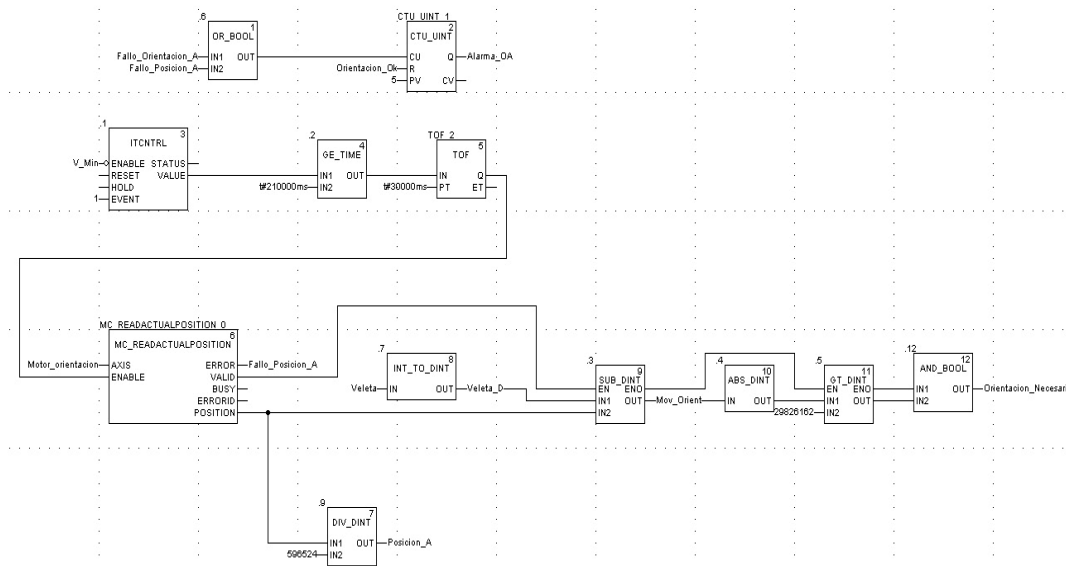
La acción se desarrolla de la siguiente manera:

Al detectar viento por encima de 4m/m mediante la negación del bit *V\_Min*, se activa el bloque de contaje temporal del evento de temporizador 1, que genera rampas de 4 minutos que es el tiempo entre un posible movimiento y el siguiente. Durante este tiempo y gracias a un comparador de tiempo, a los 3 minutos y medio (210seg) se comienza el proceso de lectura y comparación de la posición actual con la que indica la veleta, manteniendo el bit final de *Orientacion\_Necesaria* durante 30 segundo más, gracias al bloque TOF que mantiene la activación de todo el proceso durante este tiempo.

La comparación se ejecuta tras la lectura de la posición mediante el bloque especial de movimiento READ\_POSITION que ofrece en formato DINT, valor que para poderlo restar con el de veleta debe ser ajustado a este formato por otro bloque de transformación, la resta de estos dos nos da la distancia de giro en DINT, que usará el evento de temporizador 1 para el movimiento, pero todo esto tras una comparación de valores que da la confirmación de necesidad de movimiento, necesitando un bloque de paso a número absoluto puesto que el valor de movimiento es bipolar. El valor usado es 5° que al realizar el cambio se convierte en 298226162.

Para asegurar que la información de la posición es válida se han usado los terminales EN/ENO de los bloques implicados, que vienen activados por la confirmación del bloque de lectura de posición y que mediante una puerta AND se adjunta a la condición de los 5° de diferencia.

Por último, existe la posibilidad de que haya un fallo de lectura de posición o de movimiento, que genera el servo, y que al sumar 5 consecutivos da la alarma de fallo en LEXIUM, pudiéndose anular tras una orientación correcta, mediante el bit *Orientación\_OK* que se toma del evento temporizado 1 del bloque MOV\_RELATIVE (Consultar el punto 4.4.4 *Eventos de temporizador*).



Vista de la acción *Revision\_OA*

También se ofrece un diagrama de flujo de esta acción en el capítulo 5 *Documentación*.

Revisión de la orientación de emergencia (*Revision\_OE*):

Esta acción es consecuencia de la necesidad de protección del aerogenerador cuando se llega aun estado de alarma por fallo de freno, y que se le ha añadido a los estados de alarma viento y rotor, si estos llegan a ocupar mas de 5 min, para realizar con mayor suavidad las acciones de parada y proteger los sistemas del NEO PEUI-X.

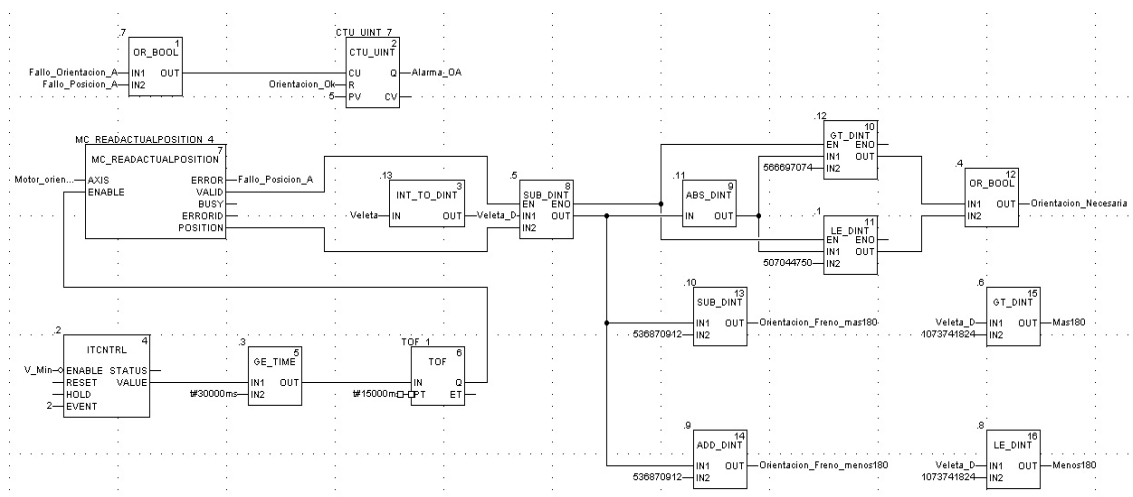
Está basado en la orientación automática, pero con la diferencia de que la posición objetivo está desfasada 90° para evitar el par del viento en las palas.

Así pues, se dispone del mismo sistema de ejecución que en la orientación automática, con una temporización de 1minuto con respecto al evento 2 y que utiliza el mismo sistema de lectura de posición y obtención de la diferencia de posiciones. A partir de aquí, el procedimiento cambia, puesto que es necesario el desfase ya nombrado.

Un premisa a cumplir es la de no sobrepasamiento de la posición de origen, por lo tanto habrá que discernir si las posiciones objetivo están por encima o por debajo de 180° y según ese dato realizar un desfase de -90 o +90 respectivamente. Para ello se han utilizado unos comparadores que activan los bit de Mas180 y Menos180 también respectivamente.

La distancia de movimiento, es la suma o la resta de 90° a la posición de la veleta, que es indicada en el evento de temporización que contiene el bloque de movimiento relativo, y que se realiza para ambos casos siempre y para lo que se dispondrá de dos bloques de moviendo en el evento.

La conclusión de realizar el movimiento o no, es diferente, puesto que ahora existen dos extremos y para lo que se ha dotado de dos bloques, uno de mayor y otro de menor que engloban las posibilidades de diferencia de 95° y 85° respectivamente, generadas al sumar la consigna  $\pm 5^\circ$  al desfase de 90°.



Vista de la acción *Revisión\_OE*

Se adjunta un diagrama de flujo en el capítulo 5 *Documentación*.

#### 4.4.2 ACCIONES DE PROCESO

Estas acciones son consecuencia de las necesidades del programa, haciendo referencia a variables E/S e internas, pero no con una funcionalidad tipo sensor.

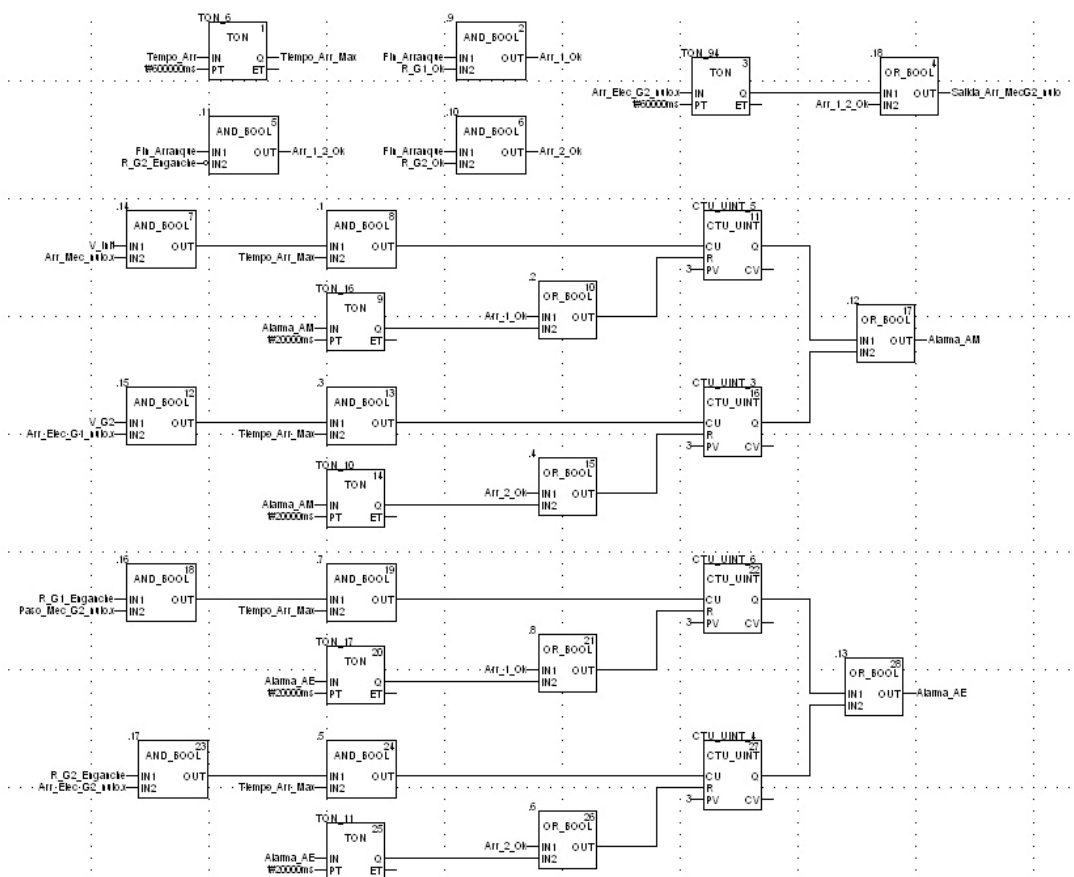
### Revisión del arranque (*Revison\_A*):

En esta acción se van a supervisar todas las variables relativas a las transiciones de los arranques, tanto las de finalización de estos como las de comprobación de los valores para los fallos.

Se activa al comenzar el primer arranque de G1 o G2, y se desactivan al llegar al estado de generación o de standby, todos ellos del modo automático.

La principal acción es la de temporización de los ejercicios de arranque mediante el bit *Tempo\_Arr*, que activa un temporizador de 10min que hace saltar el bit *Tiempo\_Arr\_Max* procediendo a la anulación del arranque correspondiente. Si se llega al estado de generación o standby el temporizador se reinicia.

Si el programa pasa la anulación de cualquiera de los arranques, se procede a la revisión de la variable implicada, como se ha explicado en el punto 4.2.2.2 *Funcionamiento anómalo*, y que si esta se confirma hace aumentar un contador que a los tres fallos consecutivos activa la alarma de eje obstruido para los arranques mecánicos y arrancador averiado para los arranques eléctricos. Estos contadores son independientes según sean los procesos de arranque 1 o 2, y se reinician al completarse el arranque correspondiente mediante el bit de transición, que se encuentra por duplicado como un impulso inicial P1 en los estados de generación, y que se generan en esta acción (*Arr\_1\_Ok*, *Arr\_2\_Ok* y *Arr\_1\_2\_Ok*).



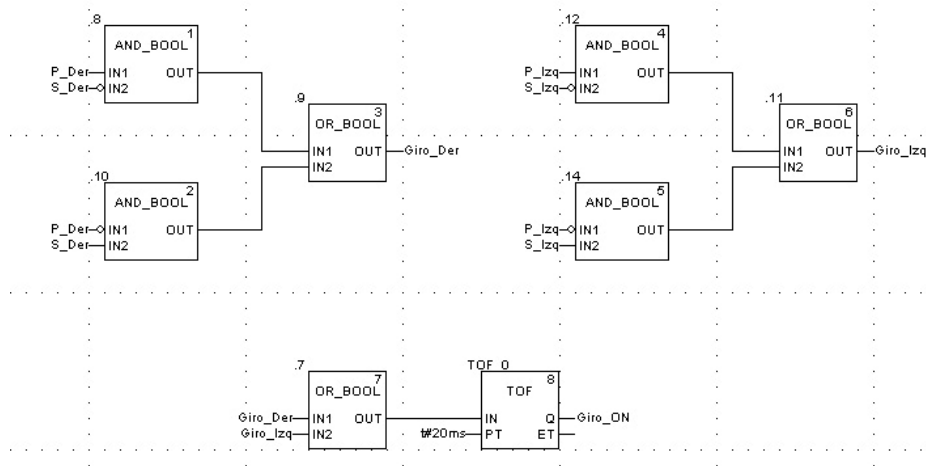
Vista de la acción *Revison\_A*

También se ofrece un diagrama de flujo de esta acción en el capítulo 5 *Documentación*.

Revisión de los pulsadores (*Revision\_P*):

Es la encargada de activar los pulsadores tanto hardware (P) como software (S), presentes en el modo manual y en el Set-up inicial, además de combinar las dos pulsaciones (P y S) y asegurar la no interacción de ambos paneles.

Otro de los objetivos es crear un bit de detección de cualquier pulsación tanto para la visualización en pantallas de operador como para la condición de tiempo de movimiento manual máximo.



Vista de la acción *Revision\_P*

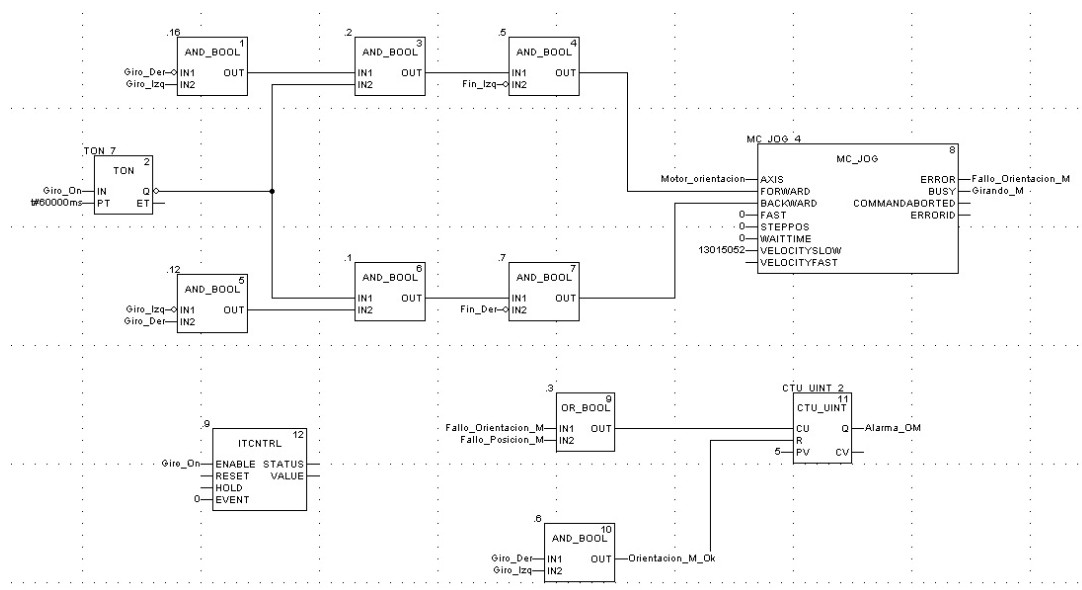
Revisión de la orientación manual (*Revision\_OM*):

Esta acción es la responsable del movimiento manual de la góndola, estando presente únicamente en ese modo. Se maneja a través de los paneles (hardware y software) habilitados por la acción *Revision\_P* y actúa gracias al bloque especial de movimiento JOG, que permite el movimiento en ambas direcciones mediante señales digitales.

Este bloque permite la parametrización de dos velocidades, una rápida y una lenta, que es la que usamos y que se deben introducir como consigna en un valor en formato UDINT cuyo fondo de escala es 13200rpm, y que nosotros hemos tomado 50rpm, reales para el motor (que para la góndola según la relación 1:40 del reductor nos da 1,25rpm), que resulta en el valor 13015052. Para activar el movimiento, debe establecerse a 1 sólo una de las entradas FORWARD o BACKWARD, porque si están las dos se elimina la acción. Los otros parámetros WAIT tiempo entre la velocidad lenta y rápida, FAST selector de tipo de velocidad, STEPPOS distancia de pasos hasta movimiento continuo, se ponen a cero para indicar que se quiere siempre movimiento continuo y lento. En la zona de salidas se ha dotado al bloque con el bit *Girando\_M* que servirá para la visualización de los movimientos de la góndola en las pantallas de operador.

Como se ha comentado en el punto 4.2.3 *Modo manual* existen dos premisas, la de tiempo de giro menor a 1 minuto y la de topes 4 y 356°, para ello se ha dotado de un temporizador que tras la pulsación continuada durante un minuto anula el flujo de acción. En relación al tope de giro, se ha colocado un bloque de activación de evento de temporizador INTCNRL que lo activa cada 500ms, y que comprueba la posición de la góndola a través de los bits *Fin\_Der* y *Fin\_Izq*, que nuevamente inhabilitan el flujo de activación del bloque JOG. Además se le ha añadido unas verificaciones de pulsación única para que al pulsar las dos direcciones este flujo de activación se corte.

Por ultimo se realiza una supervisión de los fallos que pudiera haber en los movimientos y que el bloque JOG indica por la patilla ERROR. Al llegar a 5 errores consecutivos se lanza la alarma de fallo en orientación, pudiéndose eliminar este contador, ahora si, con la pulsación de ambas direcciones.



Vista de la acción *Revision\_OM*

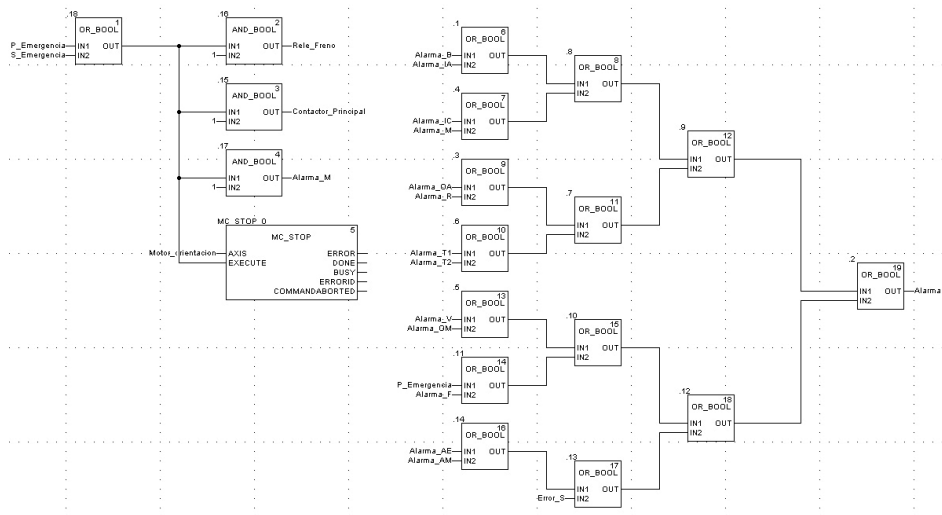
Se adjunta un diagrama de flujo en el capítulo 5 *Documentación*.

#### Revisión de las alarmas (*Revision\_X*):

Es la encargada de llevar al programa a una de las alarmas correspondientes, de tal manera que pone a la par todas los bits posibles de alarmas con puestas OR, y los engloba en uno llamado Alarma, que desencadena el direccionamiento del programa hacia los diferentes estados de alarma, para lo que se ha dispuesto de saltos de paso en todos los pasos existentes.

Además adjunta una sección especial para la alarma de pulsación manual que ofrece una respuesta más rápida si cabe, puesto que el tiempo de ciclo de programa es del orden de milisegundos, que cierra el freno, abre el circuito de potencia, da la orden de alarma manual *Alarma\_M* y para cualquier acción del sistema de orientación.

Esta acción está habilitada en todo el programa, por contener consignas para todos los modos.



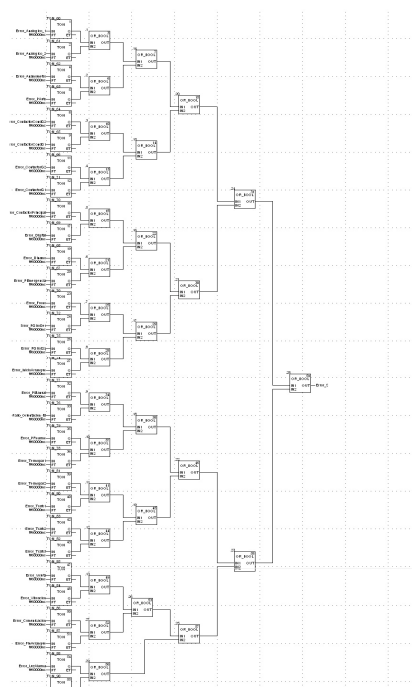
Vista de la acción *Revision\_X*

También se ofrece un diagrama de flujo de esta acción en el capítulo 5 *Documentación*.

#### Revisión de los errores de módulos (*Revision\_E*):

Es una acción de la misma clase que la de alarma, que discurre a lo largo de todo el programa y engloba todos los errores que los diferentes módulos y dispositivos pueden generar, como por ejemplo el error de comunicación con LEXIUM a través de CANopen. El resultado final de esta acción es el bit *Error\_S*, que se trata como una alarma más.

Para hacer uso de la función de rearme de canales cada 10 segundos se ha provisto a cada bit de error un temporizador de 1 minuto para que se puedan realizar hasta 6 intentos de rearme.



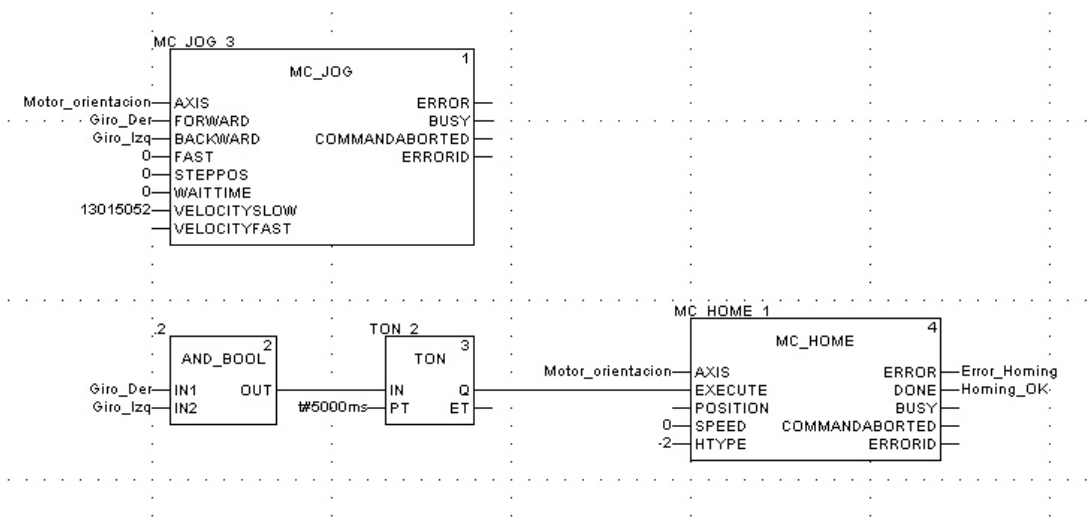
Vista de la acción *Revision\_E*

A partir de aquí las acciones ya no son nombradas revisiones puesto que no se realiza ese tipo de supervisión.

#### Set up (*Homing*):

Es la acción de configuración del sistema de orientación, se realiza en primera instancia tras haber cargado el programa en el PLC y no se volverá a realizar puesto se guardan los bits internos en la memoria no volátil y tarjeta de memoria, incluso en las caídas de tensión.

Se hace uso de la acción complementaria *Revision\_P* para activar los pulsadores, que permiten dirigir, mediante el bloque JOG, a la góndola hasta la posición deseada, una vez allí al pulsar ambos botones de dirección en el panel hardware se activa el bloque MC\_HOME que establece la referencia del sistema de orientación, y activa el bit Homing\_Ok que da la consigna de final de paso y de acción realizada para posibles inicios posteriores. Si no se realiza esta acción correctamente por parte del servo, se activa el bit de Error\_Homing que llevara al programa, una vez activada la revisión de alarmas y de errores, al estado de alarma error en módulos, siendo este tipo de error diferenciable gracias al asistente de alarmas y errores de la pantalla de operador Alarmas que se explica en el punto 4.6.3.



Vista de la acción *Homing*

#### Selección de modo (*Modo*):

Esta acción es la encargada llevar al programa a través de los posibles modos de funcionamiento, por medio del uso de los botones hardware y software dando preferencia a los primeros, por lo tanto se encuentra disponible en toda la aplicación.

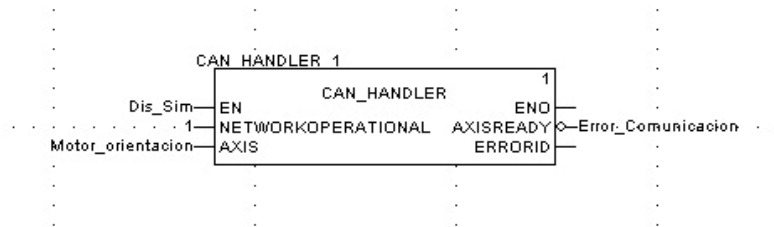
Además es capaz de poner al programa en modo simulación que ayuda inspeccionar el desarrollo del programa sin que determinados bits de consigna activen continuamente las alarmas.





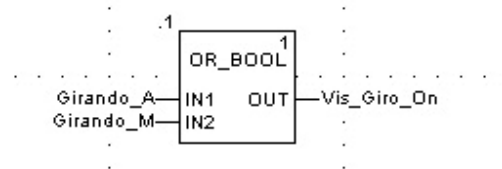
Comprobación de la comunicación CANopen (*Comp\_com*):

Según el manual de LEXIUM es precisa la comprobación periódica de la comunicación con el PLC, para lo que se dispone del bloque CAN\_HANDLER, realizándose cada vez que se entra en el modo paro, o en los standby de los demás modos.

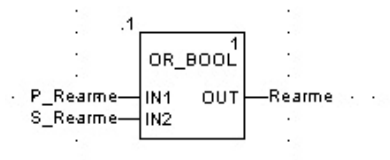
Vista de la acción *Comp\_com*Visualización del giro activo (*Vis\_Giro\_on*):

Esta sencilla acción sirve para indicar a través de las pantallas de operador *Mando*, *Variables* y *Supervision* que se está efectuando un movimiento en el modo manual para el panel de mando, y en cualquier modo en las otras dos.

Se encuentra presente en todo el programa puesto que no ocupa gran carga de memoria, y se ejecuta en dos de sus tres modos.

Vista de la acción *Vis\_Giro\_on*Activación del pulsador rearme (*Puls\_rearme*):

Se realiza la activación de los pulsadores de rearme tanto Hardware como software en los lugares de utilización, que son la entrada en estado de alarma, desactivándose al salir de estas.

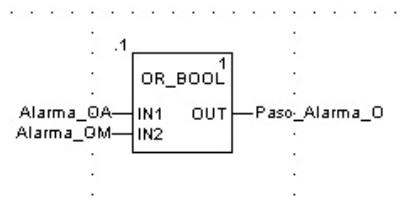
Vista de la acción *Puls\_rearme*

### 4.4.3 TRANSICIONES

Estas operaciones se han creado debido a que no es suficiente una única variable para la entrada en determinados pasos.

#### *Paso\_Alarma\_O*

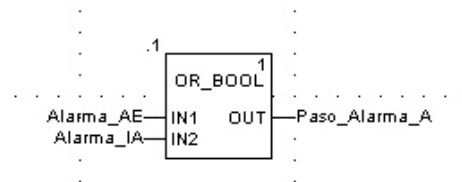
Creada para englobar los dos posibles fallos de orientación, manual y automático, para llevar al programa al paso de alarma del sistema de orientación *Orientacion*.



Vista de la transición *Paso\_Alarma\_O*

#### *Paso\_Alarma\_A*

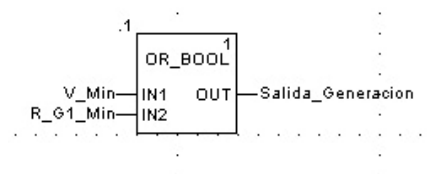
Engloba los dos bits de alarma posibles para el arrancador alarma tanto por fallo en el arranque como por insuficiencia de corriente, haciendo llegar al programa al paso de alarma *Arrancador*.



Vista de la transición *Paso\_Alarma\_A*

#### *Salida\_Generacion*

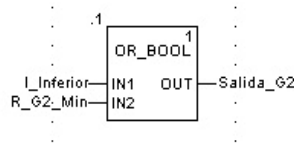
Implica las dos posibles causas de finalización de la acción generadora G1 por viento mínimo continuado y por llegada al límite de velocidad de generación de la máquina 1, llevando al programa al estado *Fin\_Generacion*.



Vista de la transición *Salida\_Generacion*

### Salida\_G2

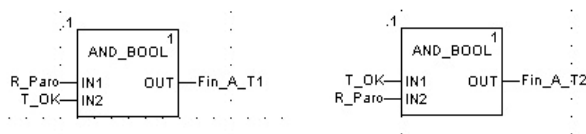
Realiza la transición para el paso *Bajada\_Generacion*, desde el estado de generación G2, teniendo en cuenta las dos consignas tanto de corriente mínima (*I\_Inferior*) como de velocidad mínima de generación de la máquina2 (*R\_G2\_Min*).



Vista de la transición *Salida\_G2*

### Fin\_A\_T1 y Fin\_A\_T2

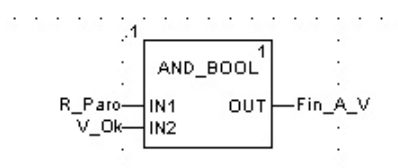
Ambas engloban los bits de finalización de los estados de alarma por temperatura, obligando al cumplimiento de ambos, temperatura (*T\_OK*) y llegada a velocidad de rotor nula (*R\_Paro*).



Vista de la transición *Fin\_A\_T1* y *Fin\_A\_T2*

### Fin\_A\_V

Posibilita la salida del estado de alarma por viento fuerte, y obliga a que además de haber bajado el viento (*V\_Ok*) se haya parado el rotor completamente (*R\_Paro*)



Vista de la transición *Fin\_A\_V*

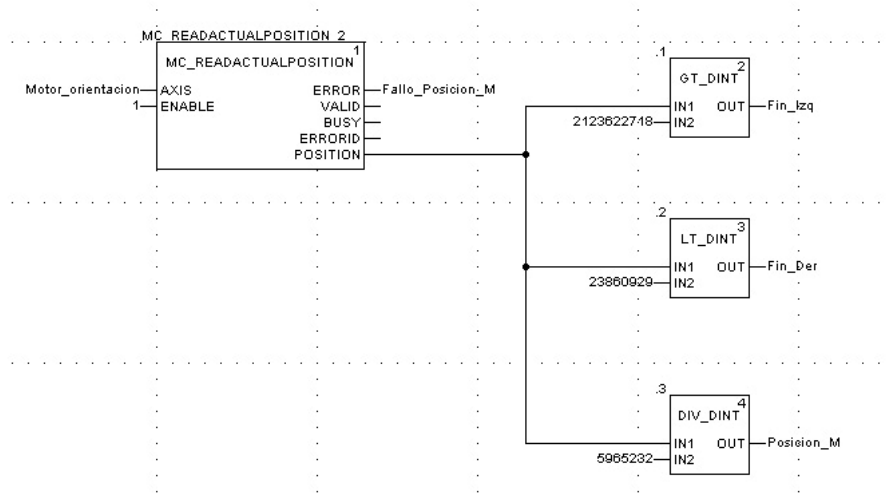
## 4.4.4 EVENTOS DE TEMPORIZADOR

Los eventos temporizador permiten crear ciclos temporales de ejecución, que en este proyecto se han usado para las tareas de orientación puesto que requieren un tratamiento especial sobre el desarrollo principal de la tarea MAST, permaneciendo esta en curso mientras se ejecuta la acción oportuna.

A continuación se describe el propósito de cada uno de estos eventos y su interacción con los de la tarea principal.

Temp 0

Este evento se activa en la acción *Revision\_OM* si se pulsa cualquiera de los botones de dirección y es el encargado de revisar cada 500ms la posición de la góndola durante el movimiento manual para activar los bits de los límites del espacio de trabajo 4 y 356° (*Fin\_Izq* y *Fin\_Der* respectivamente) que usará la acción que lo genera (*Revision\_OM*) para detener el movimiento del motor de orientación. Además suministra el valor de esta posición a la pantalla de operador Mando y el posible bit de fallo de posición para el contador de la alarma de orientación.

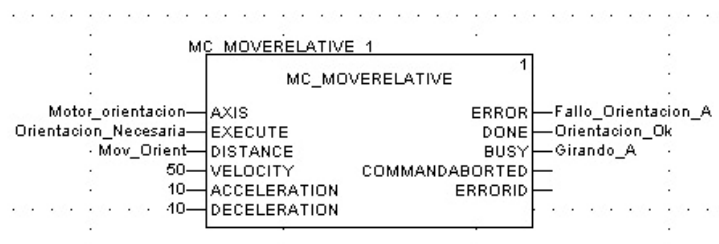


Vista del evento de temporizador Temp 0

Temp 1

Se ejecuta cada 4 minutos durante el modo automático y es creado para la ejecución del bloque especial MOV\_RELATIVE que realiza movimientos según una consigna de distancia, tomada de la acción *Revision\_OA*, que es donde se genera este evento, y cuyo valor se presenta en formato DINT resultado de la resta de la posición de la veleta menos la de góndola.

Además es necesaria la introducción de los valores de velocidad y rampas ascendente y descendente en formato UINT con correspondencia al valor rpm, para los que se han elegido 50 rpm como velocidad final y 10rpm/s para las rampas, realizando una vuelta completa en unos 48seg. que es lo suficientemente rápida para poder realizar un nuevo movimiento pasados los 4 minutos.



Vista del evento de temporizador Temp 2

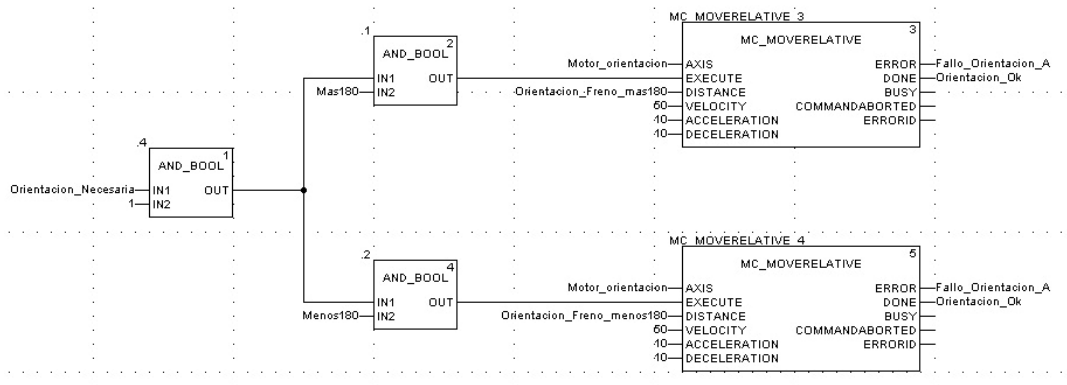
Se añaden también los bit de fallo y el de eliminación del contador de fallo, además de uno especial para la visualización, en las pantallas de operador *Variables* y *Supervision*, del giro de la góndola.

### Temp 2

Este evento se encarga cada minuto del movimiento de la góndola en los estados de alarma en los que está presente la acción *Revision\_OE*, que es donde se encuentra el bloque de activación.

Para posibilitar el giro en ambos sentido con diferentes valores del movimiento a realizar, se han introducido dos bloques que mediante los bits *Mas180* y *Menos180* activan el desplazamiento en uno u otro sentido.

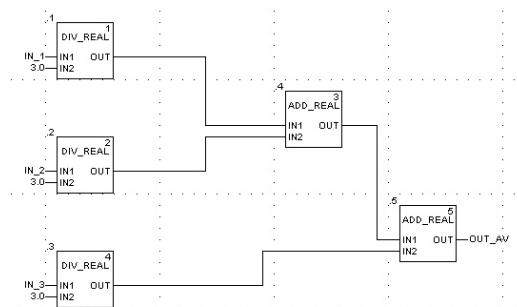
Como complemento se gestionan los bits de error de orientación y reinicio de su contador.



Vista del evento de temporizador *Temp 2*

### 4.4.5 BLOQUES CREADOS

En la realización del proyecto NEO PEUI-X se ha dispuesto de los bloques predefinidos por el programa, pero ha sido necesaria la creación de uno no existente y totalmente necesario para la supervisión del sistema, la media aritmética de los tres valores de corriente emitidos por los trafos de intensidad llamado *Media\_3*.



Vista de la acción interna del bloque *Media\_3*

## **4.5 ALARMAS**

Son una parte muy importante de la supervisión del programa puesto que pueden acarrear desgastes, desajustes e incluso serias averías, para ello se a dotado al programa de la capacidad de entrar en alarma desde cualquier paso de la sección MAIN que controla todo el programa, donde estas también se encuentran, y su salida conduce al estado de paro aunque debido a una selección de otro modo el programa salta directamente a ese modo.

Para la discretización del tipo de alarma y así facilitar mediante diferentes bits el reconocimiento de la causa de la misma, a cada alarma se le asocia un paso concreto en el que se desarrollan las acciones pertinentes, para lo que se ha creado también una pantalla de operador que muestra las principales características y medidas a tomar para cada una de ellas. Como consecuencia de esto se crean 12 estados de alarma que llenarían el grafct de saltos de paso, para evitarlo se ha dispuesto de la acción *Revison\_X* que engloba todas las posibles alarmas en un único bit, que dará la orden de transición a un estado de alarma general llamado *Alarma\_Set* desde el que se comienza la ejecución de esta, a través de la apertura de los contactores y el freno, y del que se sale hacia los pasos propios de alarma que a continuación se describen.

Antes de esta descripción hay que realizar una pequeña clasificación acerca de cómo se finaliza cada una de estas alarmas, tal y como realizaba la antigua instalación, puesto que algunas de ellas implican un mal funcionamiento de algún dispositivo haciéndose necesaria la intervención del operario para superarlas, mientras que otras son consecuencias normales debidas a acción externa metereológica y por tanto al tiempo se deberán superar sin esta intervención humana. Esta diferenciación las describe como alarmas de enclavamiento o de no-enclavamiento. Por último podemos distinguir la alarma Manual que posee un tratamiento especial, que la sitúa en las de enclavamiento pero con diferencias sustanciales.

### **4.5.1 ALARMAS DE NO-ENCLAVAMIENTO**

#### **4.5.1.1 ALARMA DE VIENTO EXCESIVO**

Es la propia del paso Viento, basada en la llegada al máximo valor de éste permitido para la seguridad del aerogenerador que se establece en 25m/s, realizando la desconexión de las líneas de potencia mediante los contactores y procediendo al frenado del eje hasta pararlo. Este suceso unido al de caída del viento por debajo de 20 m/s saca al programa de la alarma. Si esta ejecución tarda más de 5 minutos se activará una ayuda extra a esa tarea por parte de la orientación de emergencia que colocará el eje de las palas en dirección perpendicular al viento reduciendo el estrés de las partes mecánicas implicadas.

#### **4.5.1.2 ALARMA DE VELOCIDAD DEL ROTOR EXCESIVA**

Esta alarma se ejecuta en el paso Rotor debido a la llegada de la velocidad del rotor por encima del límite 1565rpm, abriendo los correspondientes contactores y pasando a frenar el rotor hasta pararlo, momento en el que se sale del estado de alarma. Al igual que la alarma de viento excesivo si la ejecución de esta alarma dura más de 5 minutos se activa la orientación de emergencia, facilitando la labor de parada.

---

#### **4.5.1.3 ALARMA DE TEMPERATURA G1**

Se ejecuta en el paso *Temperatura\_1* y se activa al aumentar por encima de 80°C la temperatura del devanado estático de la máquina 1 y desactiva la generación por medio de los contactores y el freno, hasta que se cumple la parada del rotor y la bajada de temperatura por debajo de 70°C.

#### **4.5.1.4 ALARMA DE TEMPERATURA G2**

Este procedimiento alarma se realiza del mismo modo que el de G1 pero para el paso *Temperatura\_2* y sus valores relativos al generador G2, en el paso y sirve para diferenciar cual de las dos máquinas ha sido la causante y su posible revisión.

### **4.5.2 ALARMAS DE ENCLAVAMIENTO**

La característica principal de estas alarmas es que todas realizan la misma secuencia de actuación, activan el freno, desconectan las líneas de potencia mediante los contactores y se finalizan con la pulsación de cualquiera de los botones de rearme disponibles (hardware y software).

#### **4.5.2.1 ALARMA DE FALLO DE CIRCUITO**

Corresponde al paso *Circuito*, representa la ausencia de corriente en el circuito de potencia en los estados de generación con un valor inferior a 1A durante un minuto consecutivo, que puede deberse al corte de alguna de las líneas o de fallo de alguno de los contactores.

#### **4.5.2.2 ALARMA DE VIBRACIÓN**

Se basa en la superación del nivel establecido en la puesta a punto para el nivel de vibración, protegiendo a la instalación de posibles averías graves ya que indica cuando la góndola sufre de alguna parte mecánicamente desajustada. Su paso correspondiente es el de Vibración con "B" puesto que en la referenciación de las acciones de revisión ya estaba usada la letra "V".

#### **4.5.2.3 ALARMA DE EJE OBSTRUIDO**

Simboliza la incapacidad de llegar a la velocidad de enganche para el arranque eléctrico si esto ocurre 3 veces consecutivas por causas ajenas a la desaparición de viento, dando cuenta de que existe algún tipo de avería o impedimento en el eje principal. Esta alarma corresponde al paso *Eje*.

#### **4.5.2.4 ALARMA DE FALLO DEL ARRANCADOR**

Esta alarma indica un fallo del dispositivo de arranque suave en el paso *Arrancador*, a través de dos causas, la inexistencia de corriente mayor a 0,5A durante 30seg en el proceso de arranque que indicará que no se ha establecido la conexión o no hay continuidad en el circuito, y dos, la consecución de 3 arranques eléctricos fallidos con velocidad de rotor mayor a la de enganche, lo cual puede significar que no devuelve la señal de finalización.



#### **4.5.2.5 ALARMA DE FALLO DE FRENO**

Es consecuencia del funcionamiento anómalo del freno, tanto para cerrarse, que en cuyo caso el rotor no se frenará y los procesos de parada será mucho más lento o inconcluyentes y que indicarán una avería de retroceso de las zapatas, como para abrirse, que no permitirá el movimiento del eje en los procesos de arranque mecánico indicando la avería del sistema de apertura o el fallo de cierre de relé de activación. El paso correspondiente es el de *Frenado*.

#### **4.5.2.6 ALARMA DE FALLO DE ORIENTACIÓN**

Corresponde a la acumulación de 5 fallos consecutivos de los bloques de movimiento o lectura de posición por parte del LEXIUM no acumulativos para orientación manual y automática.

#### **4.5.2.7 ALARMA DE FALLO DE MÓDULOS**

Esta alarma se usa como unificadora de todos los errores que emiten los módulos y dispositivos periféricos, y que implican un fallo bien del propio módulo o de alguno de sus sensores/actuadores/accionadores por sobrepasamiento de los niveles, así como los fallos de comunicación.

#### **4.5.3 ALARMA MANUAL**

Esta alarma se desarrolla en el paso *Emergencia\_manual* y es la resultante de la pulsación de la seta de emergencia del panel de mando hardware o del botón alarma de la pantalla *Mando*. Reúne unas características especiales en relación a las de enclavamiento, además de el rearme y la desactivación de los contactores y el freno, pues el pulsador seta de emergencia además de ser de retención giratoria, gobierna un contactor con seis polos, que abre las líneas de potencia, envía la señal al módulo del PLC y corta la alimentación de potencia del motor de orientación. Estas ejecuciones hardware son también realizadas en el modo soft a través de la retención del botón alarma, el contactor principal y el bloque MC\_STOP.

### **4.6 PANTALLAS DE OPERADOR**

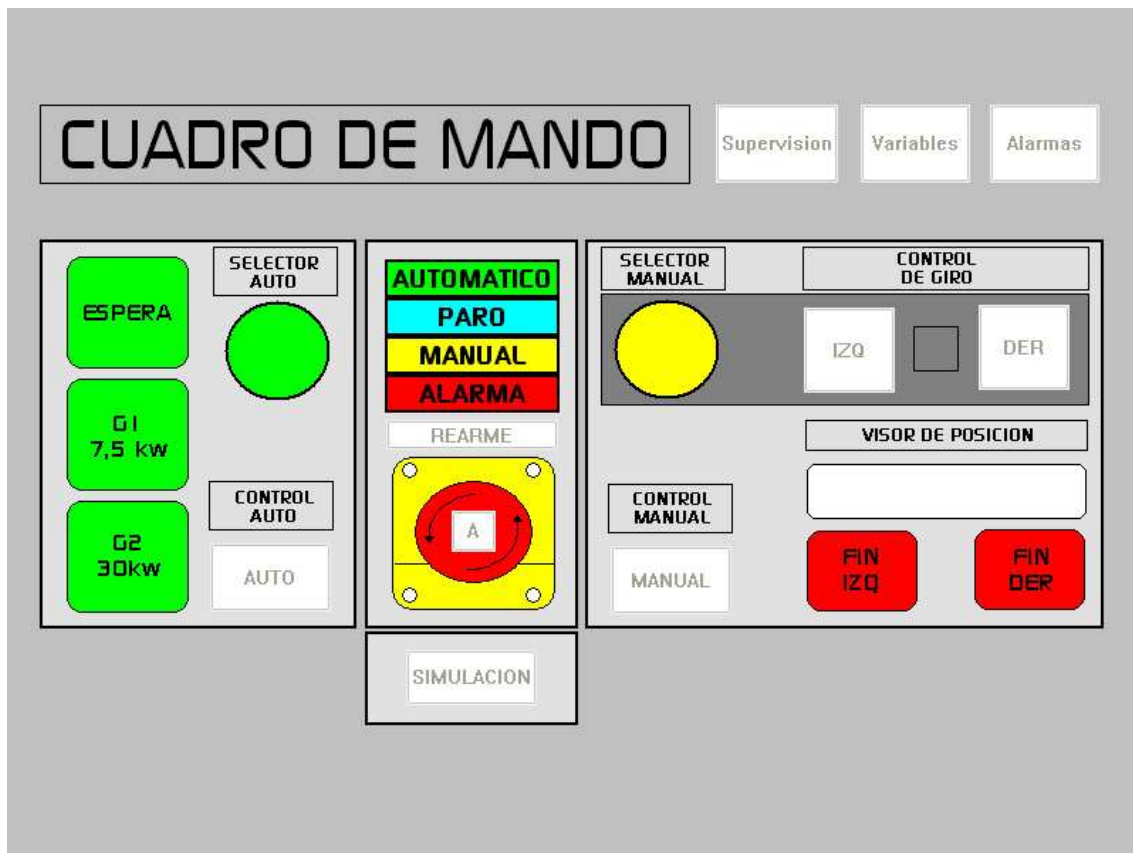
En los últimos años ha habido una demanda de la supervisión vía software para los sistemas de control, en relación a este aspecto y para aumentar las facilidades de seguimiento del estado del autómatas se han creado unos interfaces tipo mando de control, visualizadores, asistentes y SCADA, dedicados a diferentes informaciones proporcionadas por los datos del programa.

Estas pantallas estarán abiertas desde el inicio de la conexión del autómatas con el PC, que es un elemento indispensable para este cometido puesto que no se ha añadido una pantalla hardware en el armario de control, y la navegación entre ellas es muy sencilla puesto que se dispone de unos botones de cambio de pantalla con los nombres de cada una de ellas.

#### 4.6.1 MANDO

Es la pantalla principal, recreando un control muy semejante al del mando ubicado en el armario, pues permite controlar el paso de un modo a otro y las acciones de alarma manual, rearme, movimientos de la góndola y visualización de alarma que son las presentes en el panel hardware. Además incorpora una serie de visualizaciones adicionales que a continuación se describen.

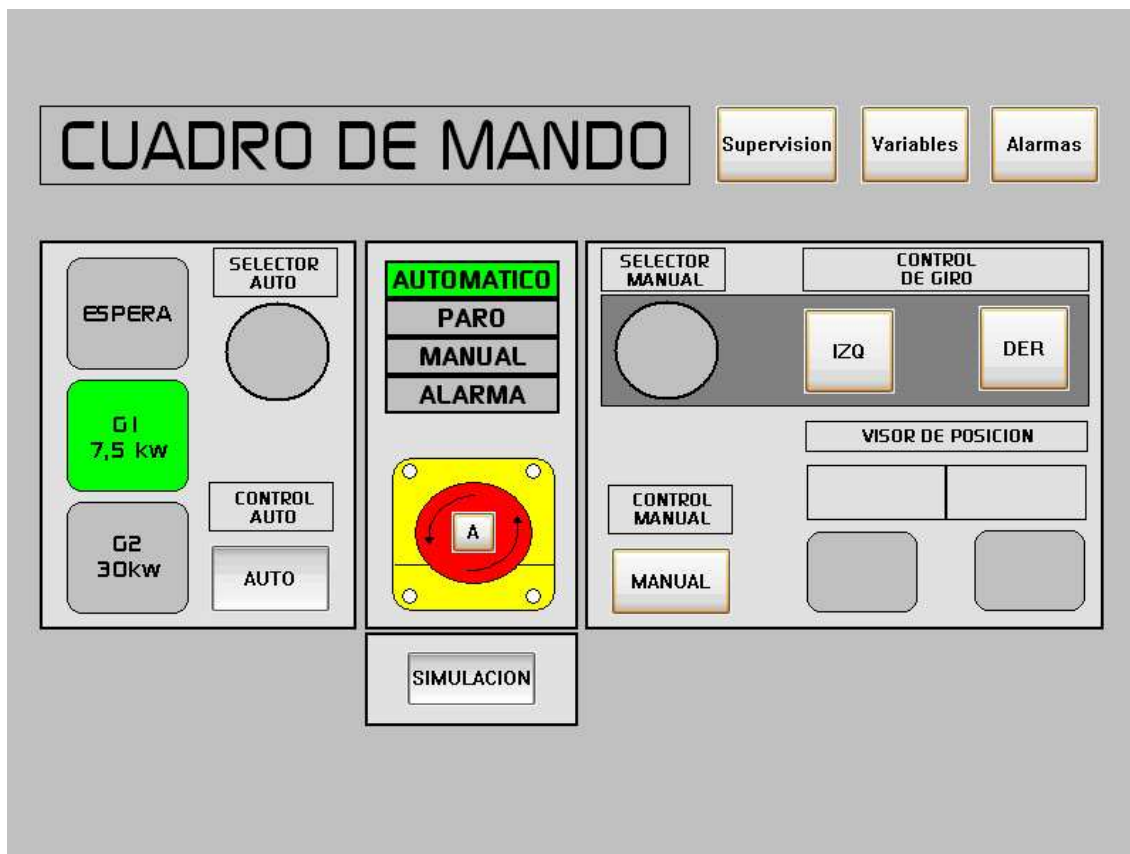
La pantalla Mando se compone de 3 secciones básicas distinguidas por unos recuadros, la sección automático a la izquierda, manual a la derecha y visualizador-emergencia en el centro. Además la transición a las demás pantallas de operador se realiza mediante los botones disponibles en la esquina superior derecha.



Vista de la edición de la pantalla de operador *Mando*

En la parte central podemos encontrar un visualizador del modo en el que se encuentra el aerogenerador, iluminándose de manera individual el correspondiente mediante colores diferentes que permiten aún más la distinción entre los modos (azul-paro, verde-auto, amarillo-man, el modo simulación no está presente puesto que únicamente se utiliza en la defensa del proyecto), e iluminando el de alarma simultáneamente a cualquiera de las demás, si cualquiera de estas se activa. En la zona inferior se representa el pulsador seta de emergencia cuya pulsación corresponde únicamente al botón que se encuentra en el centro de la circunferencia roja, y el pulsador de rearme que aparece cuando existe cualquier tipo de alarma, puesto que podría ser pulsado eliminando los contadores de fallos de alguna de las variables.

La zona izquierda es la referente al modo automático y esta compuesta de varios ítems, la activación software del modo mediante un botón con retención bajo el recuadro Control Auto, la visualización de la selección hardware de este modo simbolizada con la iluminación en verde del círculo superior, y la visualización del estado de generación en el que se encuentra también a través de su iluminación en verde, siendo posibles los estados *Espera*, *G1* y *G2* no así para los de arranque y frenado.



Vista de la pantalla de operador *Mando* en modo automático y estado de generación 1

El modo manual contiene algunos objetos diferentes a parte de los ya nombrados de visualización del selector hardware y el botón de activación del modo manual, que funcionan con la misma metodología. Estos objetos son los propios del modo manual y ayudan a su manejo y visualización de las acciones, disponiendo de los pulsadores de izquierda y derecha en cuyo espacio intermedio se sitúa un visualizador de giro activo para el modo manual, y bajo estos botones se encuentra un pequeño visualizador de la posición mediante un rectángulo de bordes redondeados que muestra una pequeña barra vertical que se mueve solidaria a la posición de la góndola durante el modo manual y que al llegar a los extremos activa sendos recuadros rojos de llegada al extremo correspondiente.



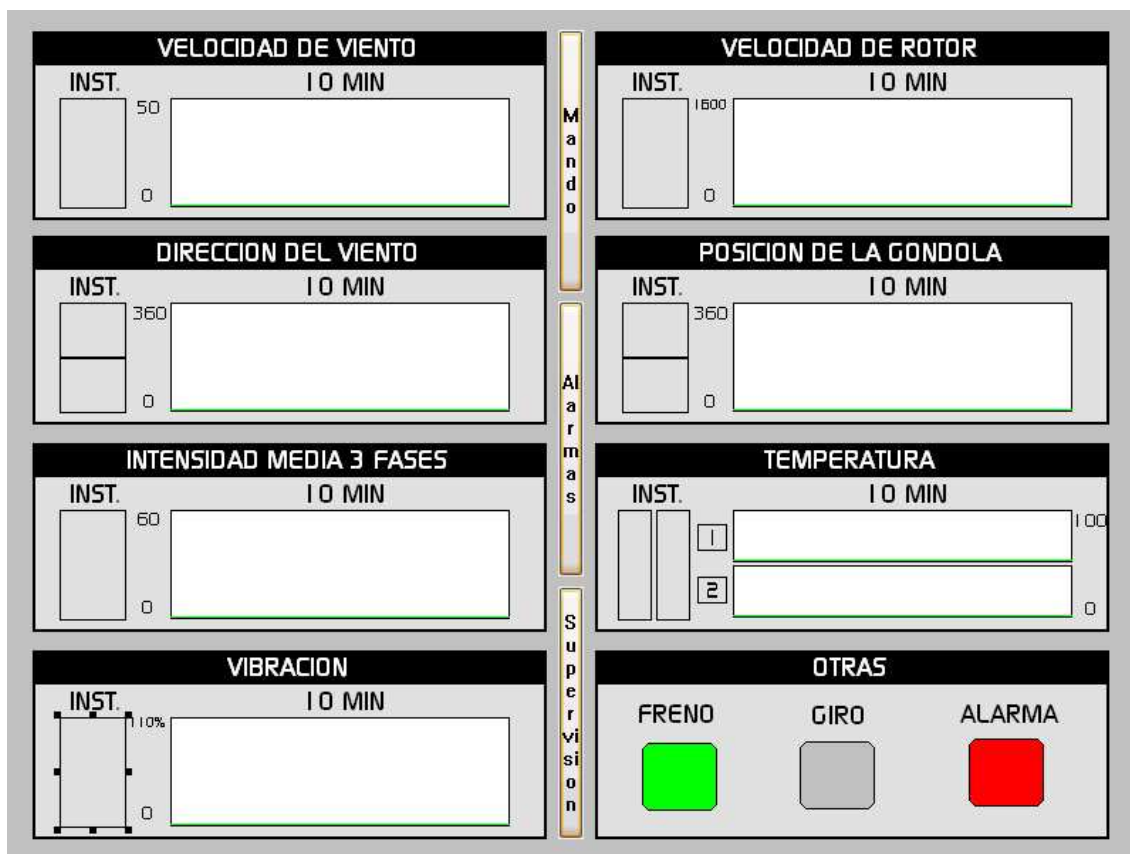
Vista de la pantalla de operador *Mando* en modo manual y posición 180°

#### 4.6.2 VARIABLES

Esta pantalla está creada para la visualización en tiempo real de las variables principales del sistema, en concreto de las analógicas, además de otras de tipo booleano que complementa este propósito.

Las visualizaciones disponibles son de dos tipos, instantáneo y temporal de 10 minutos, que permiten una supervisión mucho más amplia gracias a la visión de la evolución. Cada indicador tiene asignados y visualizados sus extremos de visualización con diferentes tipos de rango puesto que algunas variables tienen unos límites concretos y otros son susceptibles de sobrepasar por fallo de programa al no saltar la alarma, como por ejemplo el valor de la velocidad de rotor que tiene un máximo de trabajo situado en 1580rpm pero que por su posible fallo podría sobrepasarse y por tanto se visualiza hasta 1600, o en otro sensor como el de viento el límite de acción está en 25m/s pero como el sensor llega hasta 50 situamos ahí el máximo de visualización, por último los valores de posición, tanto de veleta como de góndola, no tiene posibilidad de aumentar de 360° por lo tanto no existe posibilidad de mayor rango. Además se adjunta un recuadro entre ambos visualizadores que parpadea en rojo al aparecer la alarma de esa variable.

Como complemento se han añadido unos pilotos de freno activo y giro on, en modo automático, que se activan en verde cuando se realiza ese proceso, y además otro piloto de alarma que parpadea en rojo para cualquier tipo de alarma.



Vista de la pantalla de operador *Variables* en modo simulación con alarma presente

La disposición de los botones de navegación a través de las pantallas se encuentra en el centro de esta.

#### 4.6.3 ALARMAS

Esta pantalla se ha creado para la gestión de tratamiento de las alarmas posibles, ayudando a la tarea de reconocimiento y actuación pertinente, sin necesidad del uso de un manual de operario para las alarmas.

Proporciona información acerca de las alarmas que se activan durante le ejecución del programa, mostrando su nombre, su descripción, su método de finalización y su revisión correspondiente, según cada alarma creada en el programa.



Vista de la pantalla de operador *Alarmas* indicando una alarma de *Intensidad*

Existe una visualización especial para los errores de módulos, en la que aparecen unos recuadros de indicación del módulo afectado y su localización.



Vista de la pantalla de operador *Alarmas* indicando una alarma de error en la comunicación con LEXIUM

Para el tránsito entre las diferentes pantallas se dispone de los botones pertinentes bajo el título de la pantalla.

Se esquematiza las diferentes visualizaciones para cada alarma:

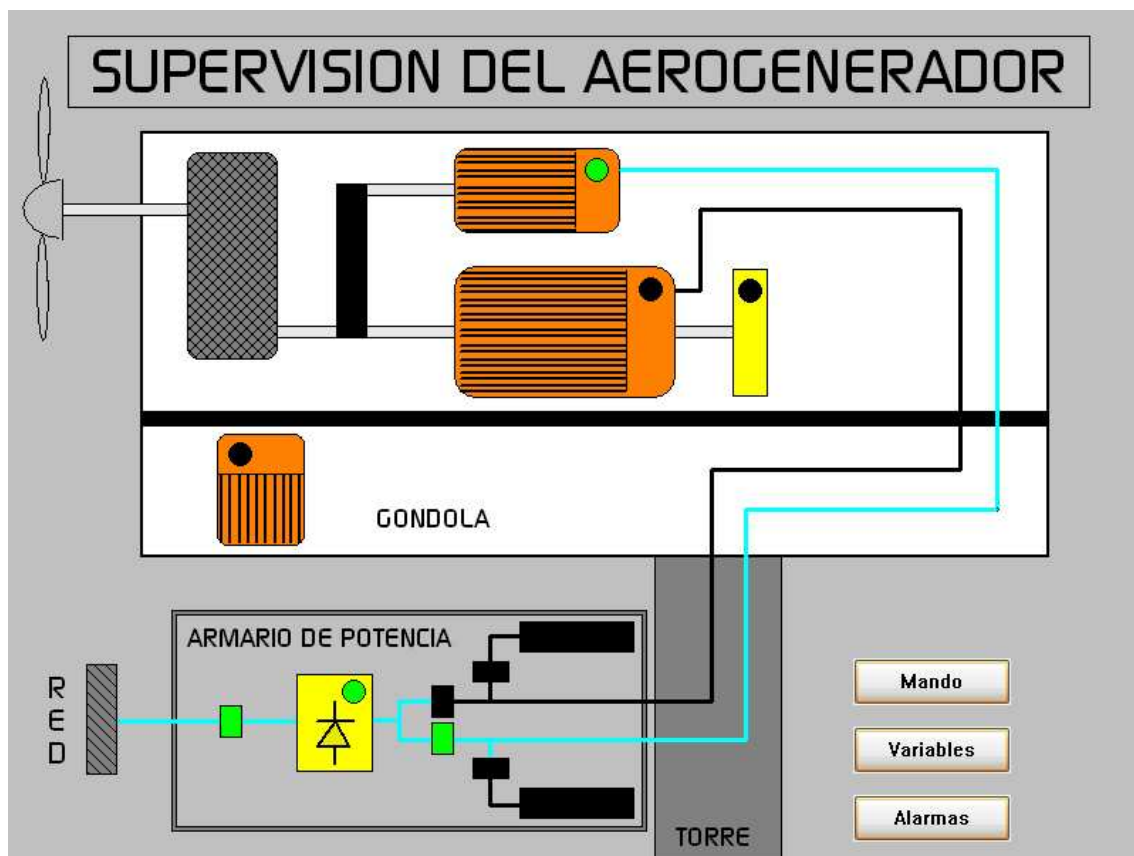
Alarma	Descriptor	Solución/Revisión
Temperatura excesiva G2	Calentamiento excesivo durante la generación, de los devanados estatóricos de la máquina 2	Espera hasta que la temperatura descienda a 70º y el eje esté parado
Error de módulo (Se muestra el nombre del módulo y la localización)	Fallo del sistema en la comunicación, tratamiento o sobrepasamiento de los extremos de trabajo de los sensores	Rearme y reinicio en frío del autómatas / Revisión del módulo y sensor implicado
Eje obstruido	Incapacidad de aumentar la velocidad del rotor en los arranques mecánicos	Rearme/ Revisión del estado de los ejes, pueden estar obstruidos
Intensidad insuficiente	Reducción continuada de la intensidad durante los estados de generación, por fallo de contactor o disparo de protecciones	Rearme/ Revisión de los dispositivos de seguridad (fusibles, protectores de tensión, térmicos y de frecuencia) y contactores del circuito
Arrancador averiado	Incapacidad de llegada a la velocidad de generación o incapacidad de mantener una corriente para el arranque	Rearme/ Revisión del arrancador
Emergencia operario	Pulsación de la seta de emergencia	Rearme
Orientación averiada	Fallo reiterado del sistema de orientación (sin distinción entre modo auto o manual)	Rearme/ Revisión del sistema Lexium ( servo y sensor de posición)
Freno no operativo	Incapacidad de liberar o parar el rotor por parte del freno	Rearme/ Revisión de la acción del freno, relé y estado de las zapatas de rozamiento
Vibración excesiva	Sobrepasamiento de las vibraciones en la carcasa de la góndola	Rearme/ Revisión de las palas, la torre y la carcasa de la góndola
Temperatura excesiva G1	Calentamiento excesivo durante la generación, de los devanados estatóricos de la máquina 1	Espera hasta que la temperatura descienda a 70º y el eje este parado
Velocidad rotor excesiva	Exceso de velocidad en el eje da alta velocidad	Espera hasta que el eje principal este parado
Viento excesivo	Sobrepasamiento de la velocidad de viento de seguridad para la operación generadora	Espera hasta que la velocidad del viento descienda a 20m/s y el eje esté parado

Tabla descriptiva de las visualizaciones de alarma disponibles en la pantalla *Alarmas*

#### 4.6.4 SUPERVISIÓN

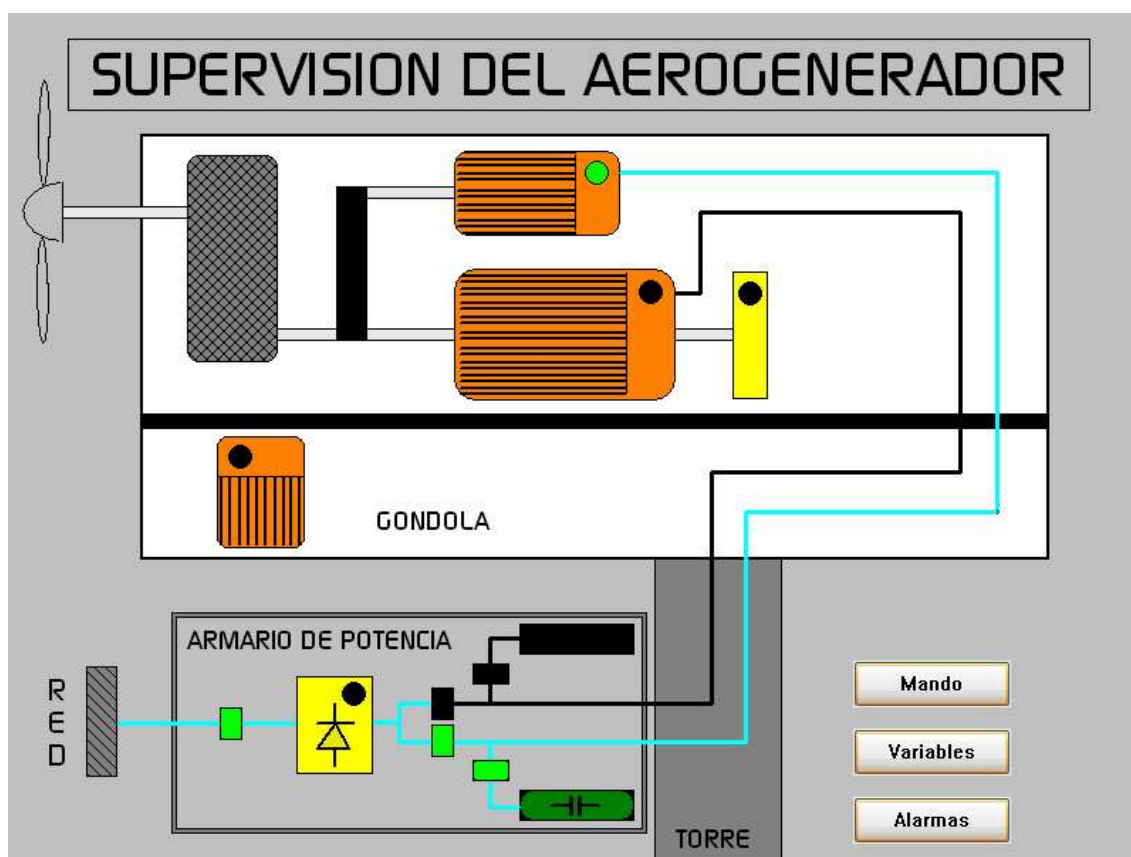
Se ha desarrollado una pantalla de tipo SCADA, pero con flujo de datos unidireccional, es decir, únicamente para la visualización del estado del aerogenerador en referencia a la activación de motores, activación de líneas de potencia y sus contactores además de la inserción de las baterías de condensadores de compensación.

Se han creado representaciones simbólicas de los elementos necesarios para la supervisión de la instalación, góndola, torre, armario de potencia, motores, arrancador, contactores y líneas de potencia junto con sus respectivos visualizadores de actividad, parpadeante azul para las líneas de corriente y verde fija para motores, contactores, freno, condensadores y arrancador.



Vista de la pantalla de operador *Supervision* durante el arranque eléctrico de G1





Vista de la pantalla de operador *Supervision* durante el estado de generación G1

Además se añade una visualización de estado de alarma de tipo parpadeante en la zona de la navegación de pantallas.

#### 4.7 TABLAS DE ANIMACIÓN

En el presente proyecto es necesaria la realización de una simulación en la defensa del mismo, estas tablas han sido creadas para el mando y visualización de algunos bits durante esa defensa, en el caso de que el proyecto llegara a implementarse estas no serian necesarias.

Nombre	Contenido
Presentación	Bits modificables en la presentación.
Alarmas	Todas las alarmas disponibles
Errores	Todos los errores disponibles
Módulos	Entradas y salidas de los módulos

Tabla descriptiva de las diferentes tablas de animación presentes en el programa para la simulación

# 5. Documentación

## 5 DOCUMENTACIÓN

---

5.1	CALCULOS JUSTIFICATIVOS	1
5.1.1	CORRIENTES	1
5.1.2	CONVERSIONES DE DATOS PARA EL PROGRAMA	2
5.2	PLANOS	
5.2.1	VISTA FUNCIONAL GENERAL	1/17
5.2.2	DISPOSICIÓN GENERAL	2/17
5.2.3	AUTÓMATA	3/17
5.2.4	VISION MANDO DE CONTROL	4/17
5.2.5	CONEXIONES	
5.2.5.1	MÓDULO DIGITAL	5/17
5.2.5.2	MÓDULO ANALÓGICO 0810	6/17
5.2.5.3	MÓDULO ANALÓGICO 0410	7/17
5.2.5.4	LEXIUM	8/17
5.2.5.5	ALIMENTACIONES	9/17
5.2.5.6	MANDO DE CONTROL	10/17
5.2.5.7	ANEMOMETRO	11/17
5.2.5.8	VELETA	12/17
5.2.5.9	DÍNAMO	13/17
5.2.5.10	SENSOR DE VIBRACIÓN	14/17
5.2.5.11	TRAFOS I	15/17
5.2.5.12	TERMPOARES	16/17
5.2.5.13	FRENO	17/17
5.3	DIAGRMAS DE FLUJO	
5.3.1	FLUJO GENERAL	1/11
5.3.2	FLUJO AUTO	2/11
5.3.3	FLUJO MANUAL	3/11
5.3.4	REVISIÓN VIENTO	4/11
5.3.5	REVISIÓN ROTOR	5/11
5.3.6	REVISIÓN ARRANQUE	6/11
5.3.7	REVISIÓN INTENSIDAD	7/11
5.3.8	REVISIÓN TEMPERATURA Y VIBRACIÓN	8/11
5.3.9	REVISIÓN FRENADO	9/11
5.3.10	REVISIÓN ORIENTACION AUTOMÁTICA	10/11
5.3.11	REVISIÓN ORIENTACIÓN EMERGENCIA	11/11

## 5 DOCUMENTACIÓN

---

### 5.1 CALCULOS JUSTIFICATIVOS

#### 5.1.1 CORRIENTES

Se va a realizar un cálculo aproximado de la corriente necesaria por los sensores y actuadores para la elección del módulo de alimentación el autómata P340 2010.

Contactores

$$6 \times (24V \times 80mA) = 9,6W$$

Pulsadores y selectores (contactos)

$$6 \times ((24V/6800\Omega) \times 24V) = 0,508W$$

Luz del panel

$$0,5W$$

Relé de freno

$$(24V/1600\Omega) \times 24V = 0,36W$$

Convertidores para los sensores

$$3 \times (24V \times 20mA) = 1,4W$$

Anemómetro y veleta

$$2 \times ((24V/600\Omega) \times 24V) = 1,92W$$

RESULTADO FINAL

$$9,6 + 0,508 + 0,5 + 0,36 + 1,4 + 1,92 = 14,288W$$

### 5.1.2 CONVERSIONES DE DATOS PARA EL PROGRAMA

Para la realización del programa de control se han necesitado una serie de cálculos en las variables correspondientes a cambios de formato y acomodación del cálculo teórico en los bloques de función implicados.

#### Orientaciones

El sistema de orientación dispone de lectura de veleta y de posición, teniendo ambas diferente formato, por lo tanto hay que realizar una conversión para introducir los valores. En este caso se ha elegido los DINT par trabajar  $\pm (2e^{31} - 1)$ .

Los cálculos son muy sencillos.

$$\begin{aligned}
 360^\circ = 2147483647 & \rightarrow 5^\circ = 29826362 \\
 & 85^\circ = 507044750 \\
 & 95^\circ = 566697074
 \end{aligned}$$

#### Bloques del servo

LEXUIM necesita una conversión anterior a la configurada, puesto que los bloques de función presentes en UNITY no pueden realizar movimientos con velocidades menores a 1rpm, por lo tanto se realiza la conversión por parte del proyectante.

El reductor es de 1:40

$$\begin{aligned}
 \text{Velocidad real} & \rightarrow 1\text{rpm} \\
 \text{Velocidad para el servo} & \rightarrow 40\text{rpm}
 \end{aligned}$$

Se nos plantea pues, la necesidad de crear un movimiento que ejecute una vuelta en torno al minuto, para movimiento relativo se dispone de rampas de subida y de bajada cuya aceleración es gobernable, seleccionamos 10 rpm/seg para el valor de bloque que en realidad es 0,25rpm/seg, se intentó calcular la ecuación necesaria pero salía de tercer orden para cuatro variables por lo tanto hubiera sido algo extenso. Por tanto se propone la velocidad máxima de 50rpm que equivale a 1,25rpm/s reales.

Los cálculos se realizan mediante las ecuaciones de movimiento uniformemente acelerado.

$$\begin{aligned}
 A & \rightarrow 10 \text{ rpm/s} \rightarrow 0,25 \text{ rpm/s} \rightarrow 1,5^\circ /s^2 \\
 V & \rightarrow 50 \text{ rpm} \rightarrow 1,25 \text{ rpm} \rightarrow 7,5^\circ /s
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 t_1 (\text{arranque}) = t_3 = 50/10 = 5\text{seg} \\
 t_2 (\text{vel. alta})
 \end{aligned}$$

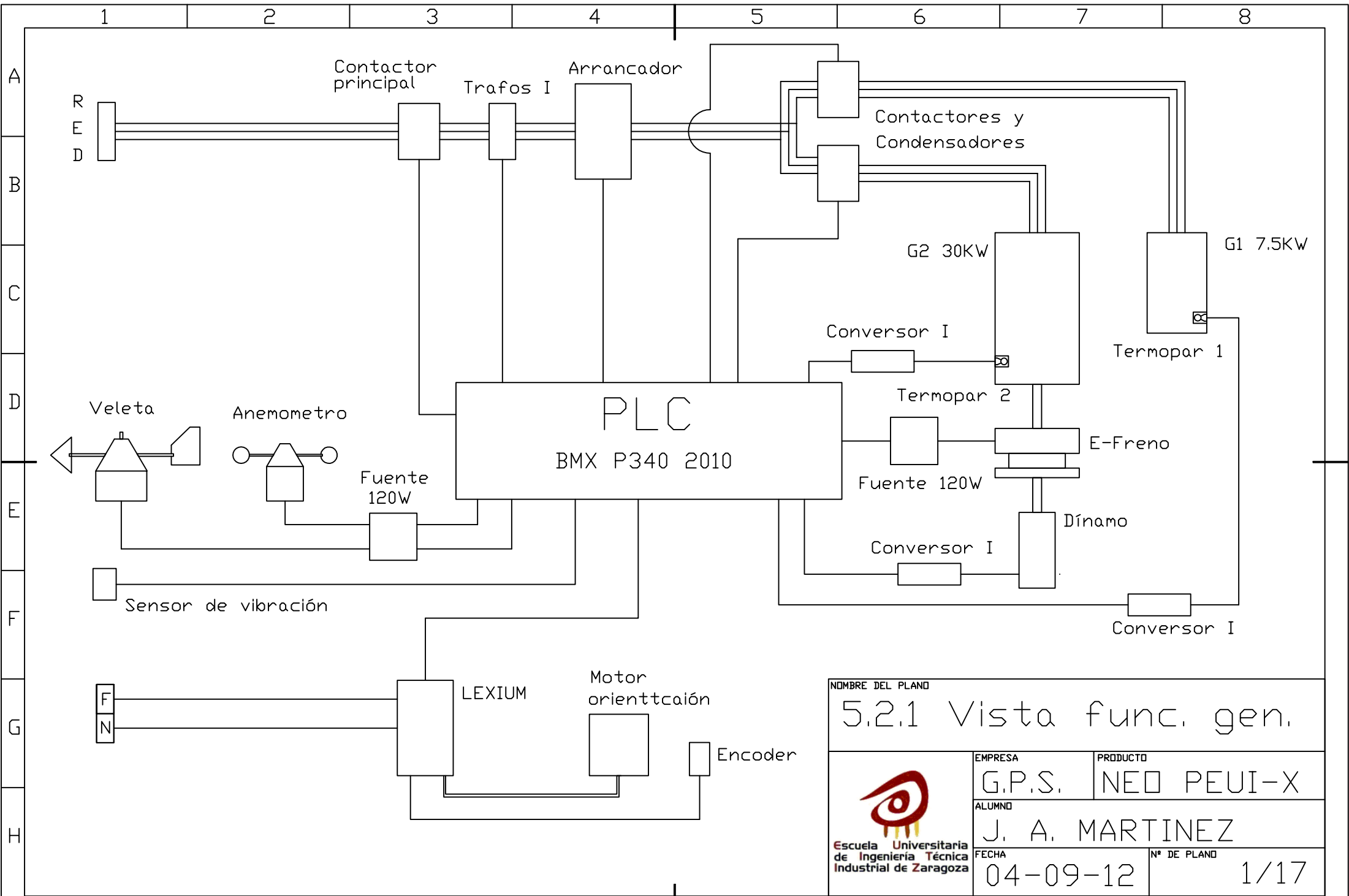
$$\text{Arranque} \quad (1/2) * (1,5 * 25) = 18,75^\circ$$

$$\text{Frenada} \quad (1/2) * (1,5 * 25) + (7,5 * 5) = 56,25^\circ$$

$$\text{Velocidad alta} \quad 360 - (18,75 + 56,25) = 7,5 * t_2 \rightarrow t_2 = 37\text{segundos} \rightarrow t_1 + t_2 + t_3 = 47\text{seg}$$

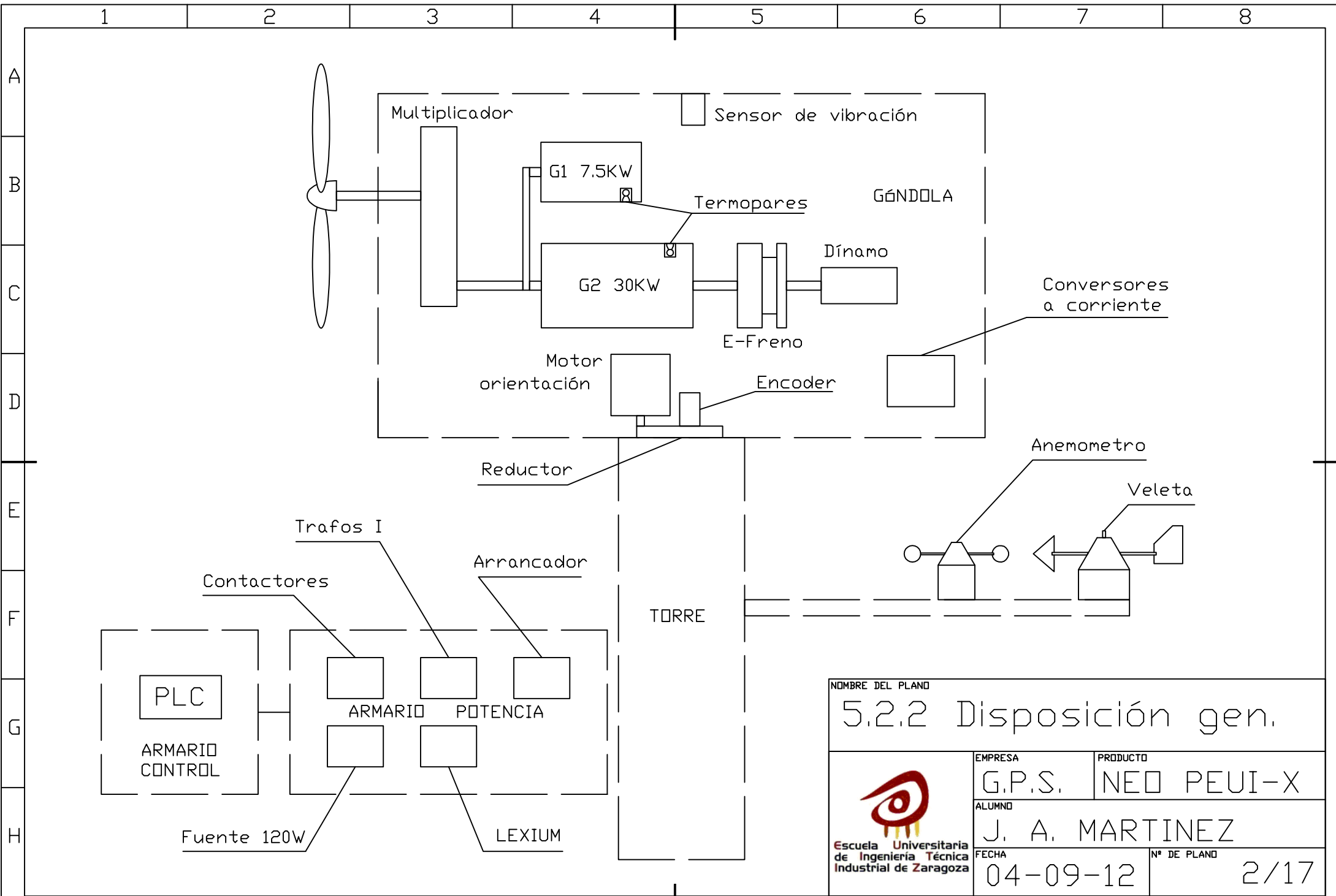
Por lo tanto es correcta la elección de estos valores.

## 5.2 Planos



NOMBRE DEL PLANO		
5.2.1 Vista func. gen.		
EMPRESA	G.P.S.	PRODUCTO
		NEO PEUI-X
ALUMNO	J. A. MARTINEZ	
FECHA	04-09-12	Nº DE PLANO
		1/17

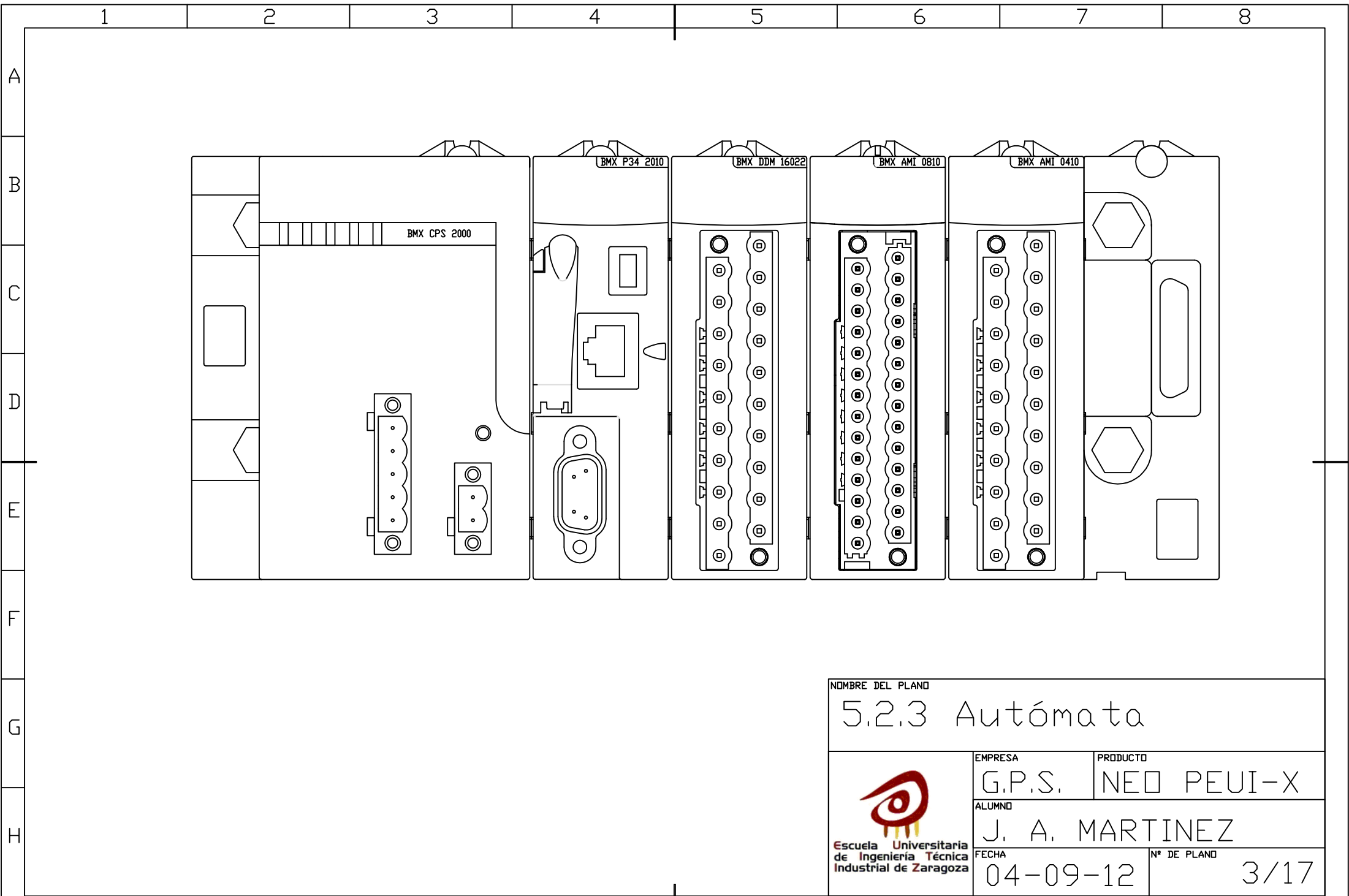




NOMBRE DEL PLANO		
5.2.2 Disposición gen.		
EMPRESA	G.P.S.	PRODUCTO
		NEO PEUI-X
ALUMNO	J. A. MARTINEZ	
FECHA	04-09-12	Nº DE PLANO
		2/17



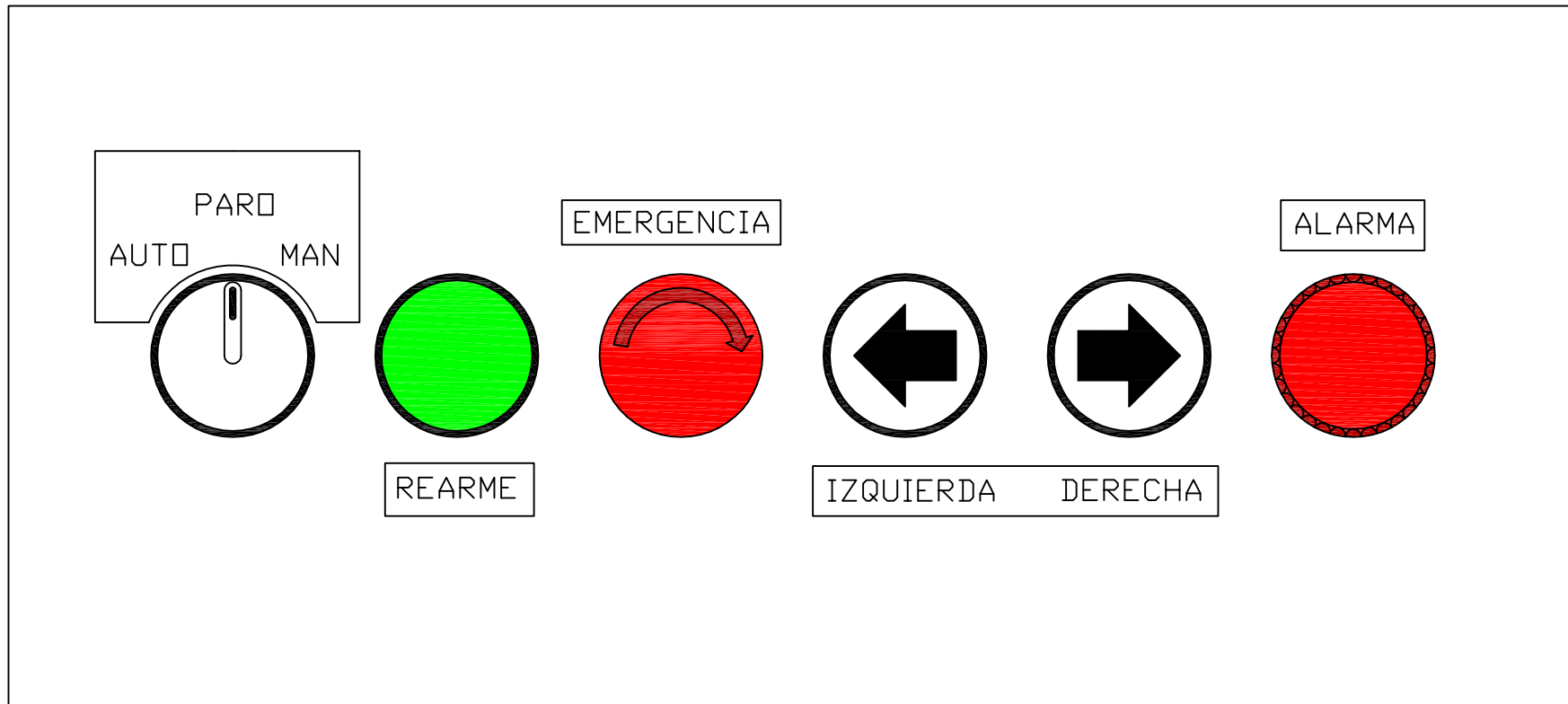





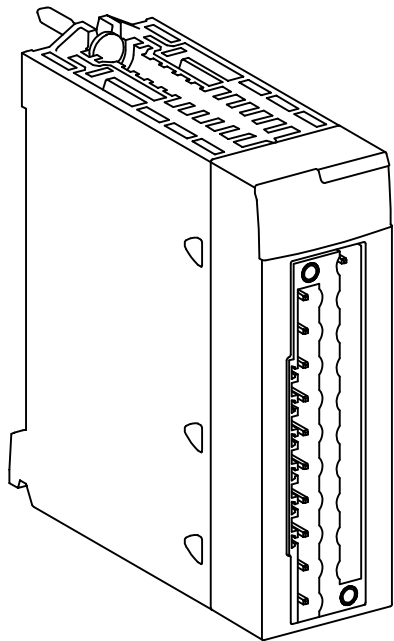
NOMBRE DEL PLANO		
5.2.3 Autómata		
	EMPRESA	PRODUCTO
	G.P.S.	NEO PEUI-X
ALUMNO	J. A. MARTINEZ	
FECHA	04-09-12	Nº DE PLANO
		3/17

1 2 3 4 5 6 7 8

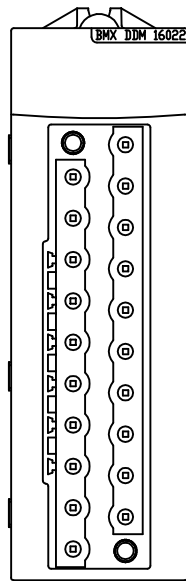
A  
B  
C  
D  
E  
F  
G  
H



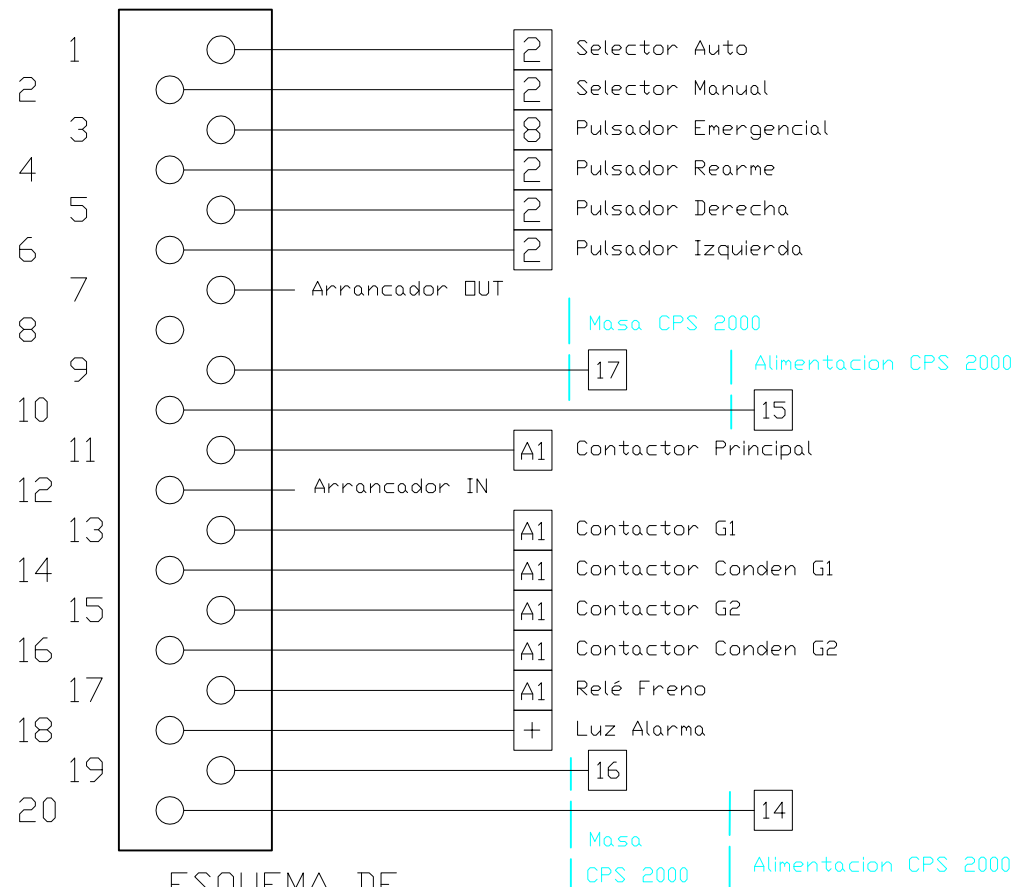
NOMBRE DEL PLANO		
5.2.4 Vis. Mando de control		
	EMPRESA	PRODUCTO
	G.P.S.	NEO PEUI-X
	ALUMNO	
	J. A. MARTINEZ	
	FECHA	Nº DE PLANO
	04-09-12	4/17




VISTA TRIDIMENSIONAL



VISTA FRONTAL

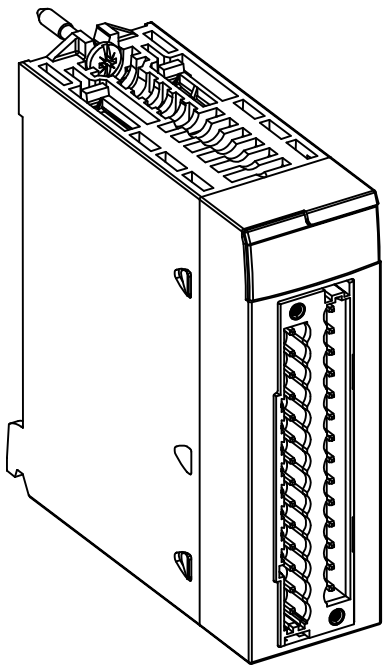


ESQUEMA DE CONEXIONES

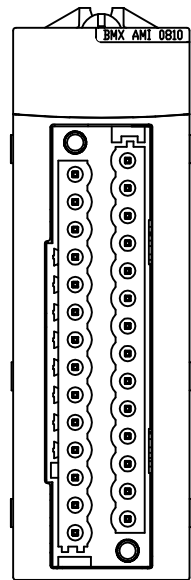
NOMBRE DEL PLANO		
5.2.5.1 Módulo digital		
	EMPRESA	PRODUCTO
	G.P.S.	NEO PEUI-X
	ALUMNO	
	J. A. MARTINEZ	
	FECHA	Nº DE PLANO
	04-09-12	5/17

1 2 3 4 5 6 7 8

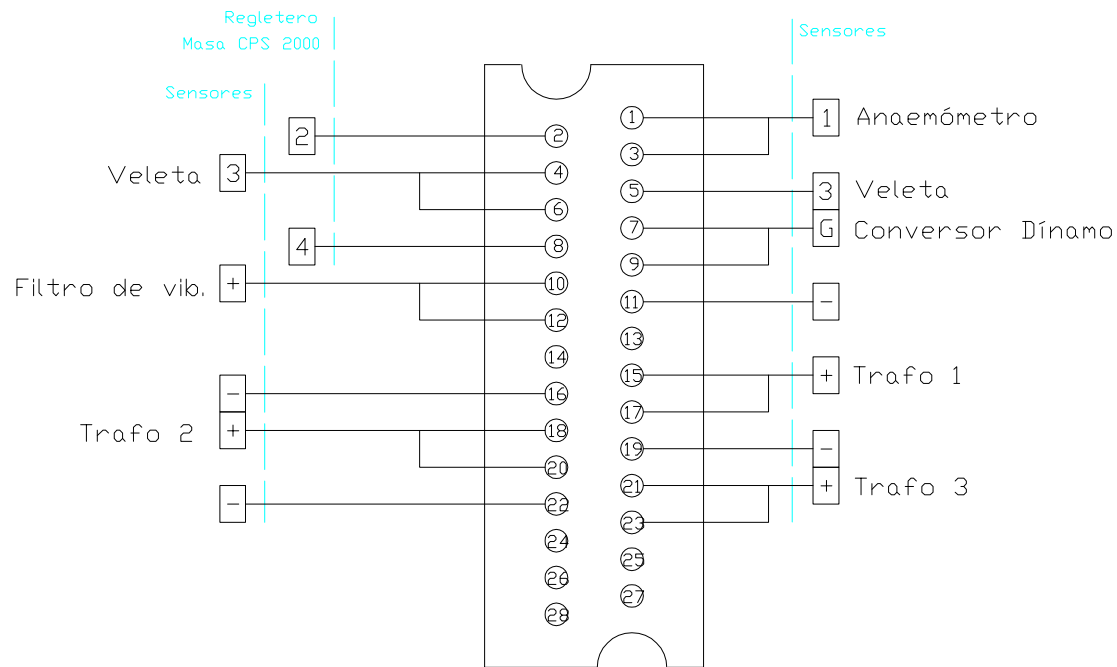
A  
B  
C  
D  
E  
F  
G  
H




VISTA TRIDIMENSIONAL



VISTA FRONTAL



ESQUEMA DE CONEXIONES

NOMBRE DEL PLANO		
5.2.5.2 Mod. Anal. 0810		
	EMPRESA	PRODUCTO
	G.P.S.	NEO PEUI-X
	ALUMNO	
	J. A. MARTINEZ	
	FECHA	Nº DE PLANO
	04-09-12	6/17

1 2 3 4 5 6 7 8

A

B

C

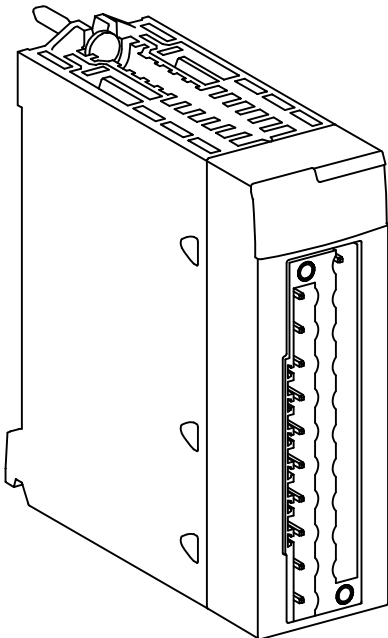
D

E

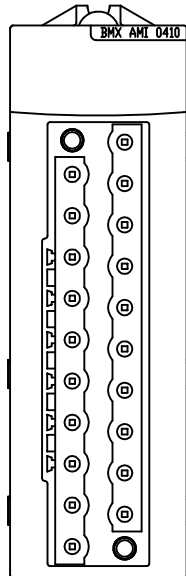
F

G

H



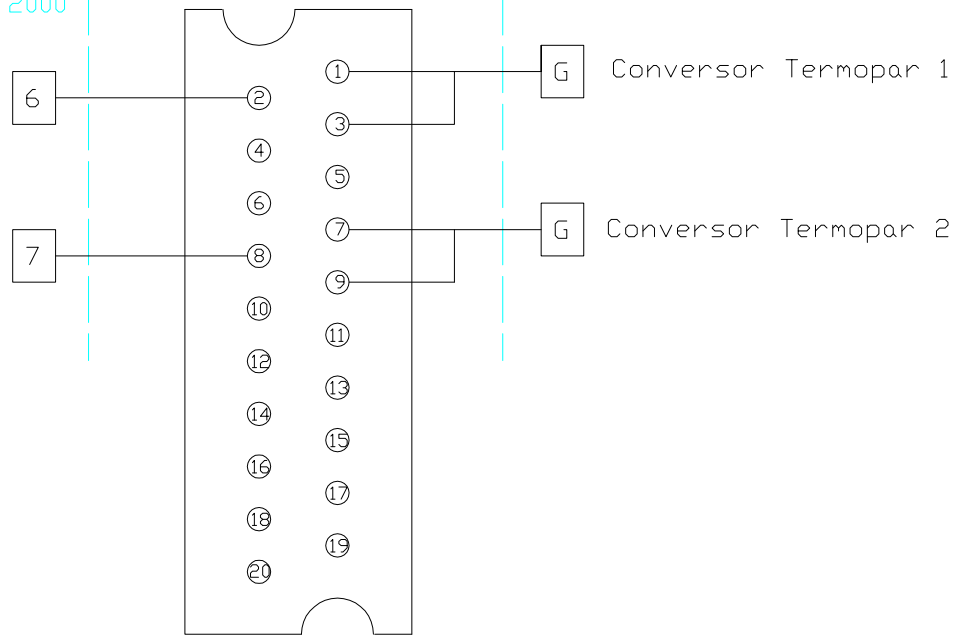
VISTA  
TRIDIMENSIONAL




VISTA  
FRONTAL

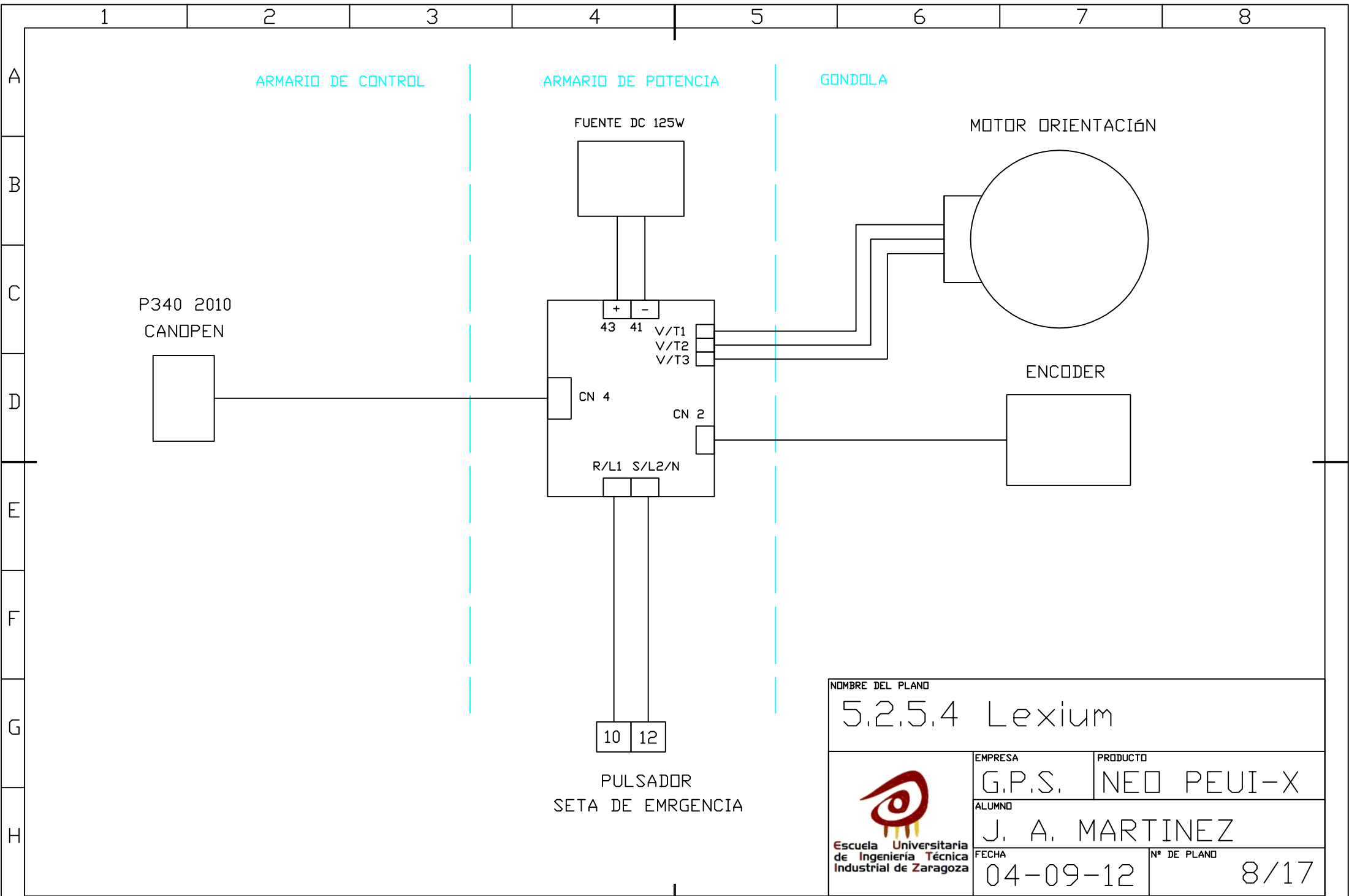
Regletero  
masa CPS 2000

Sensores



ESQUEMA DE  
CONEXIONES

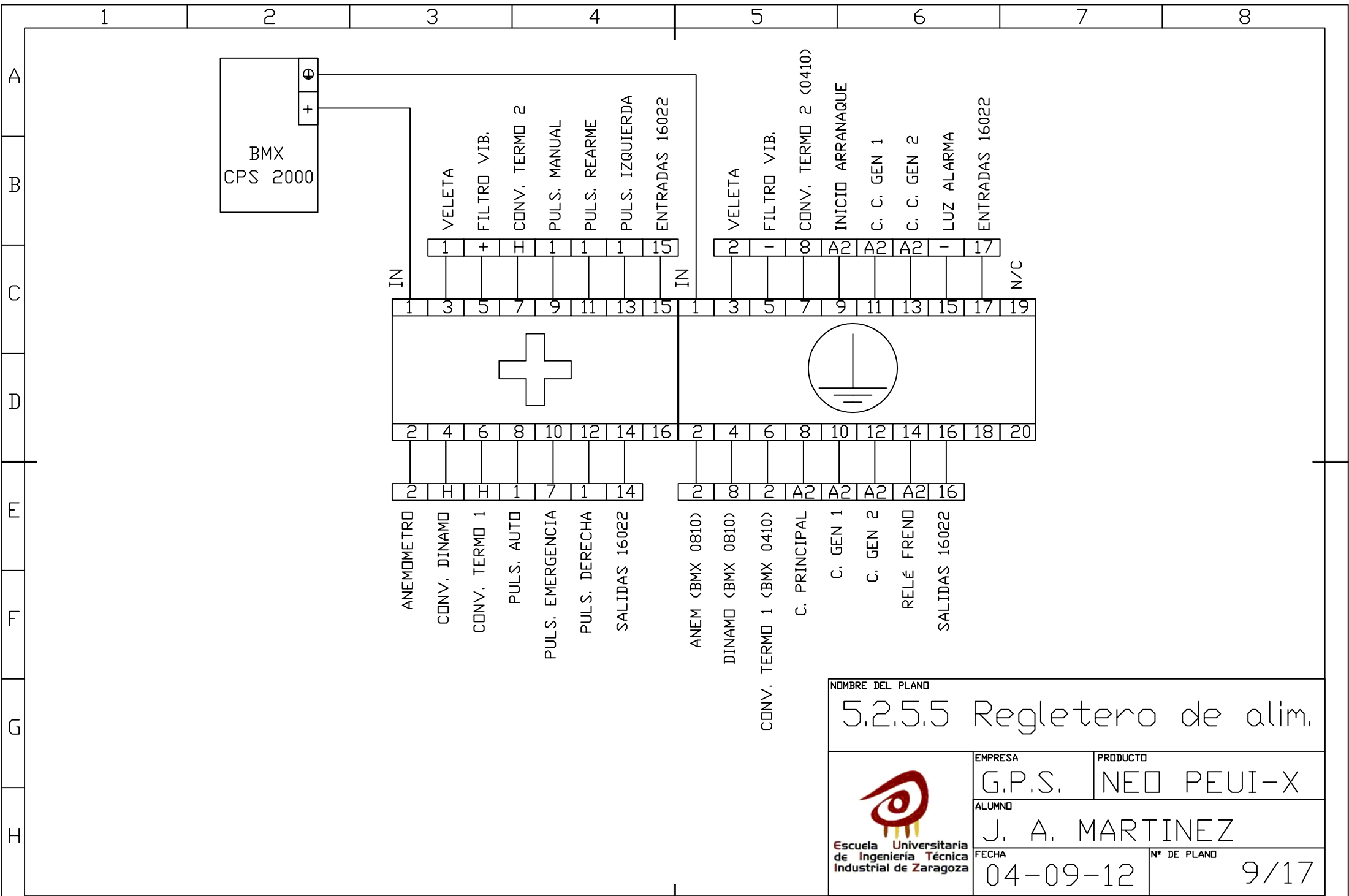
NOMBRE DEL PLANO		
5.2.5.3 Mod. Anal. 0410		
	EMPRESA	PRODUCTO
	G.P.S.	NEO PEUI-X
ALUMNO	J. A. MARTINEZ	
FECHA	04-09-12	Nº DE PLANO
		7/17



NOMBRE DEL PLANO		
5.2.5.4 Lexium		
EMPRESA	G.P.S.	PRODUCTO
		NEO PEUI-X
ALUMNO	J. A. MARTINEZ	
FECHA	04-09-12	Nº DE PLANO
		8/17

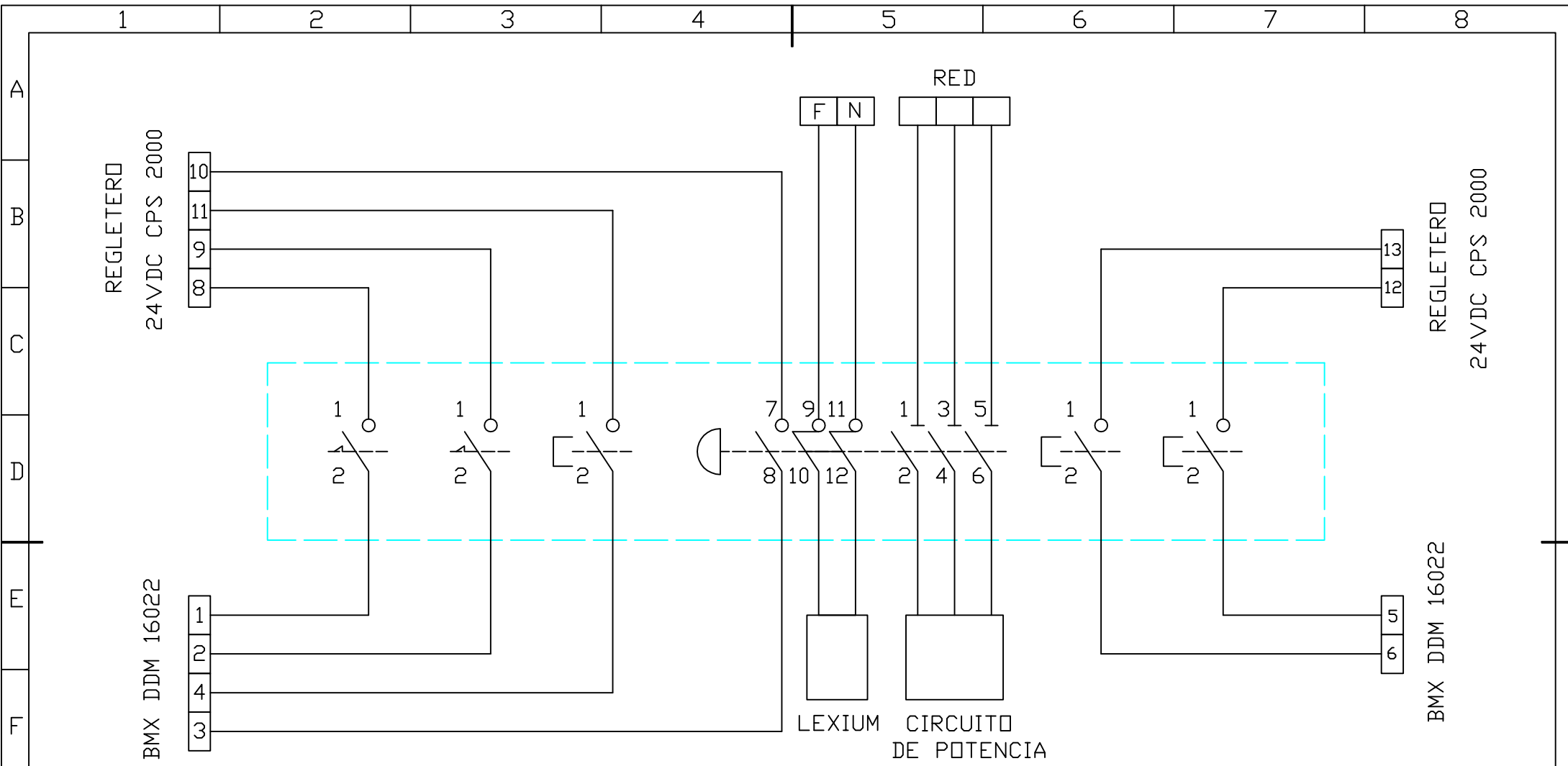


Escuela Universitaria  
de Ingeniería Técnica  
Industrial de Zaragoza



NOMBRE DEL PLANO		
5.2.5.5 Regletero de alim.		
EMPRESA	PRODUCTO	
G.P.S.	NEO PEUI-X	
ALUMNO	J. A. MARTINEZ	
FECHA	Nº DE PLANO	
04-09-12	9/17	

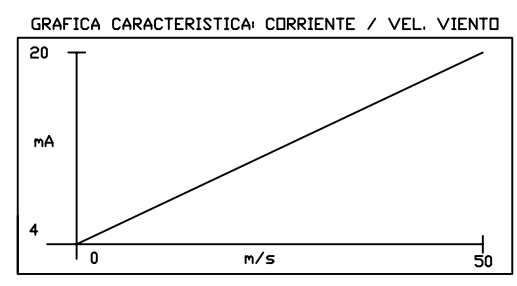
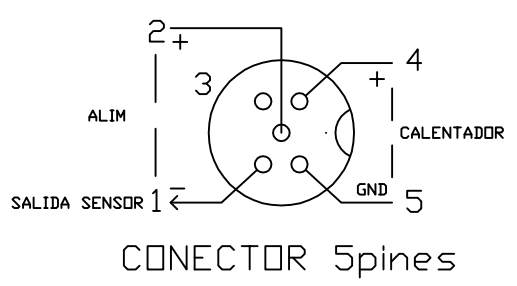
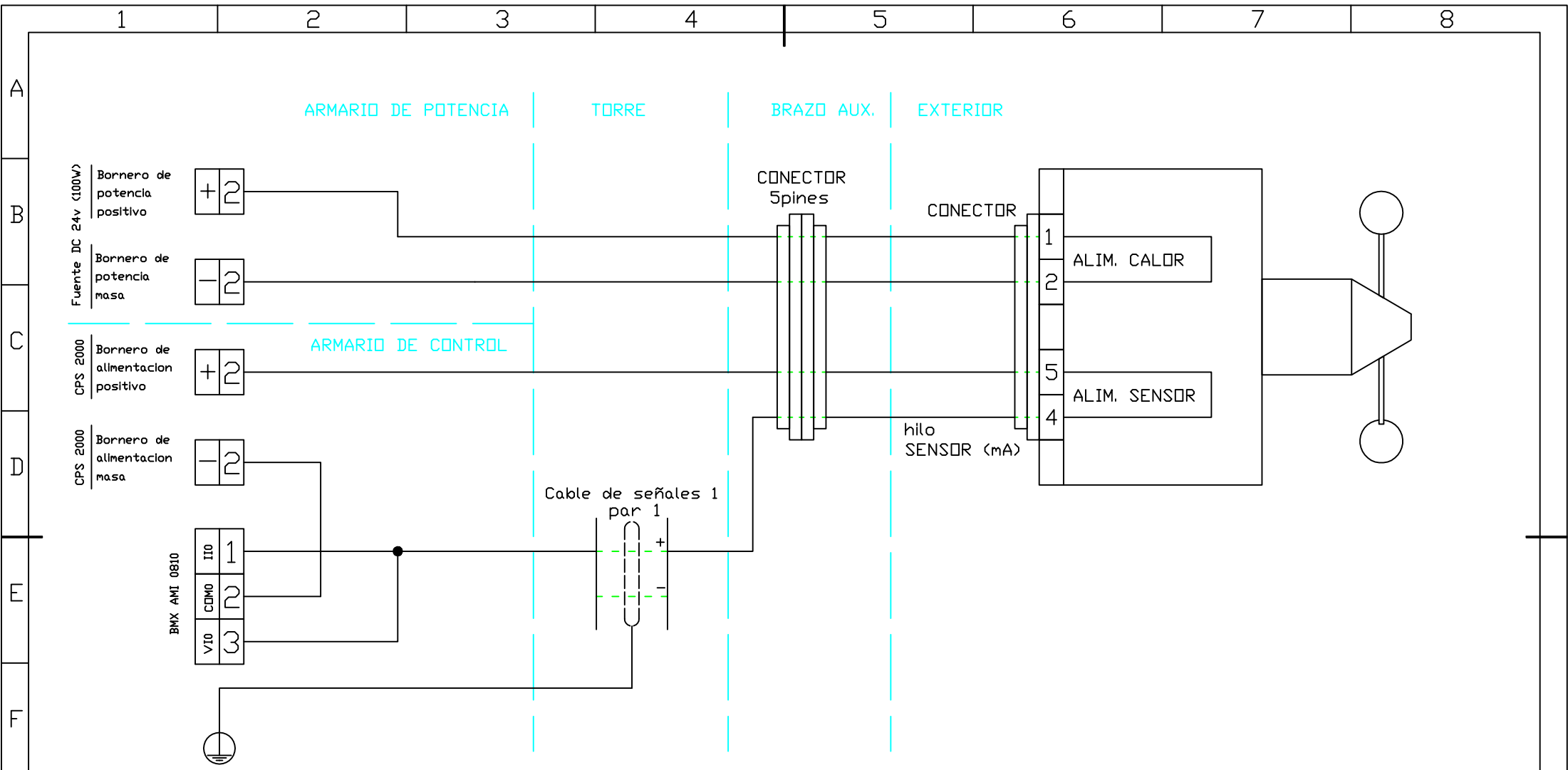




NOMBRE DEL PLANO		
5.2.5.6 Mando de control		
EMPRESA	G.P.S.	PRODUCTO
		NEO PEUI-X
ALUMNO	J. A. MARTINEZ	
FECHA	04-09-12	Nº DE PLANO
		10/17




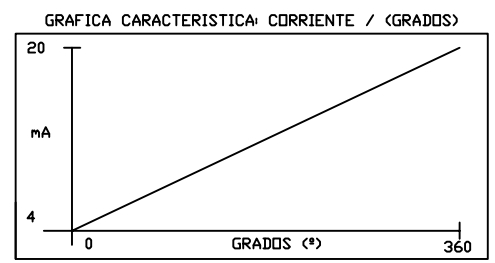
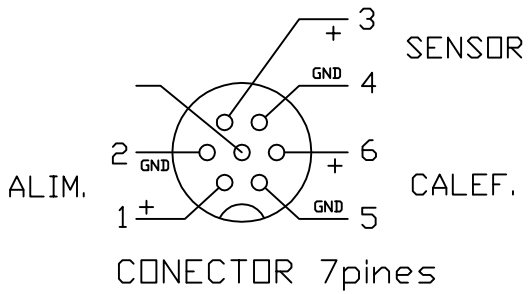
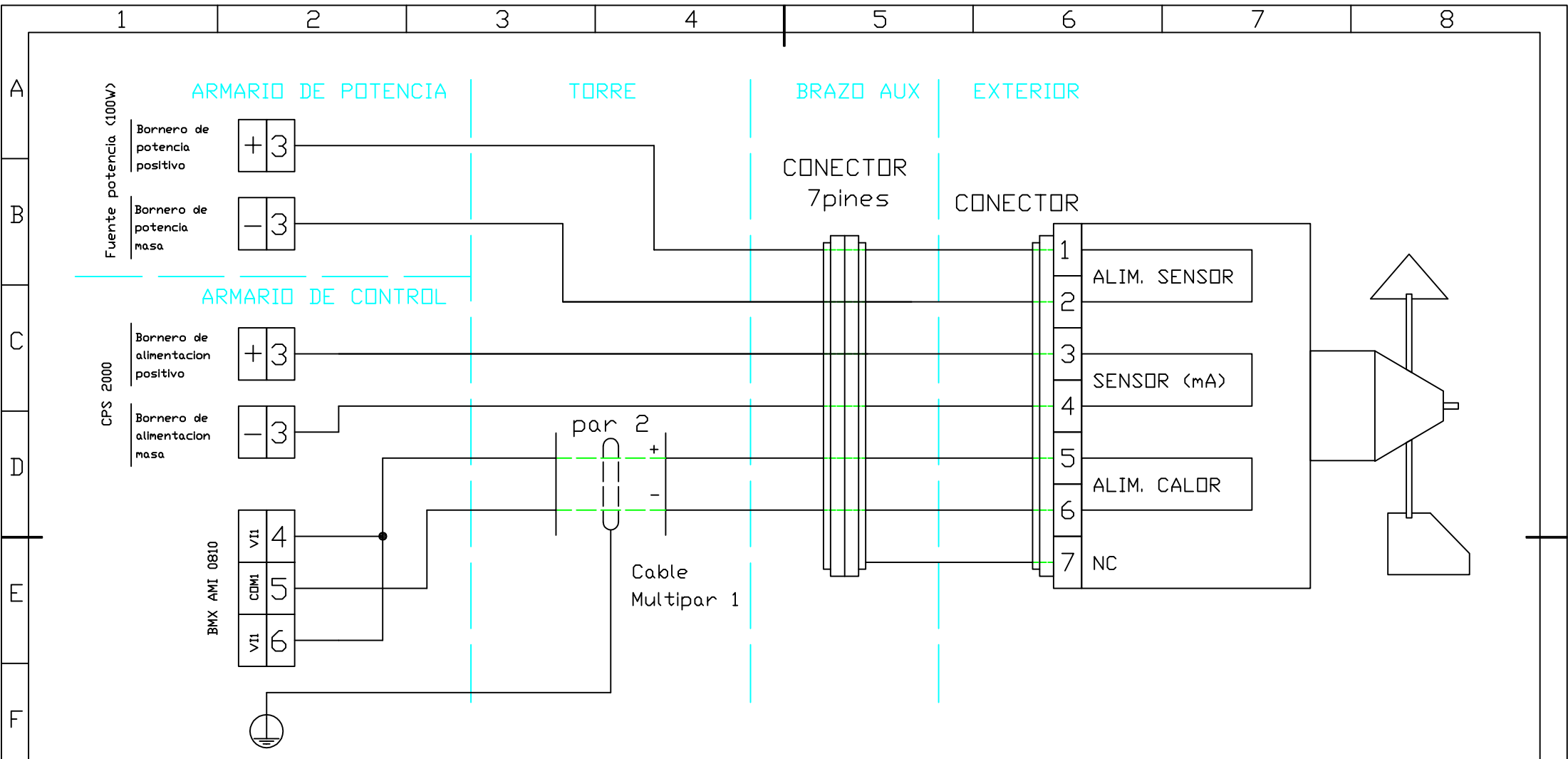




NOMBRE DEL PLANO  
5.2.5.7 Anemometro

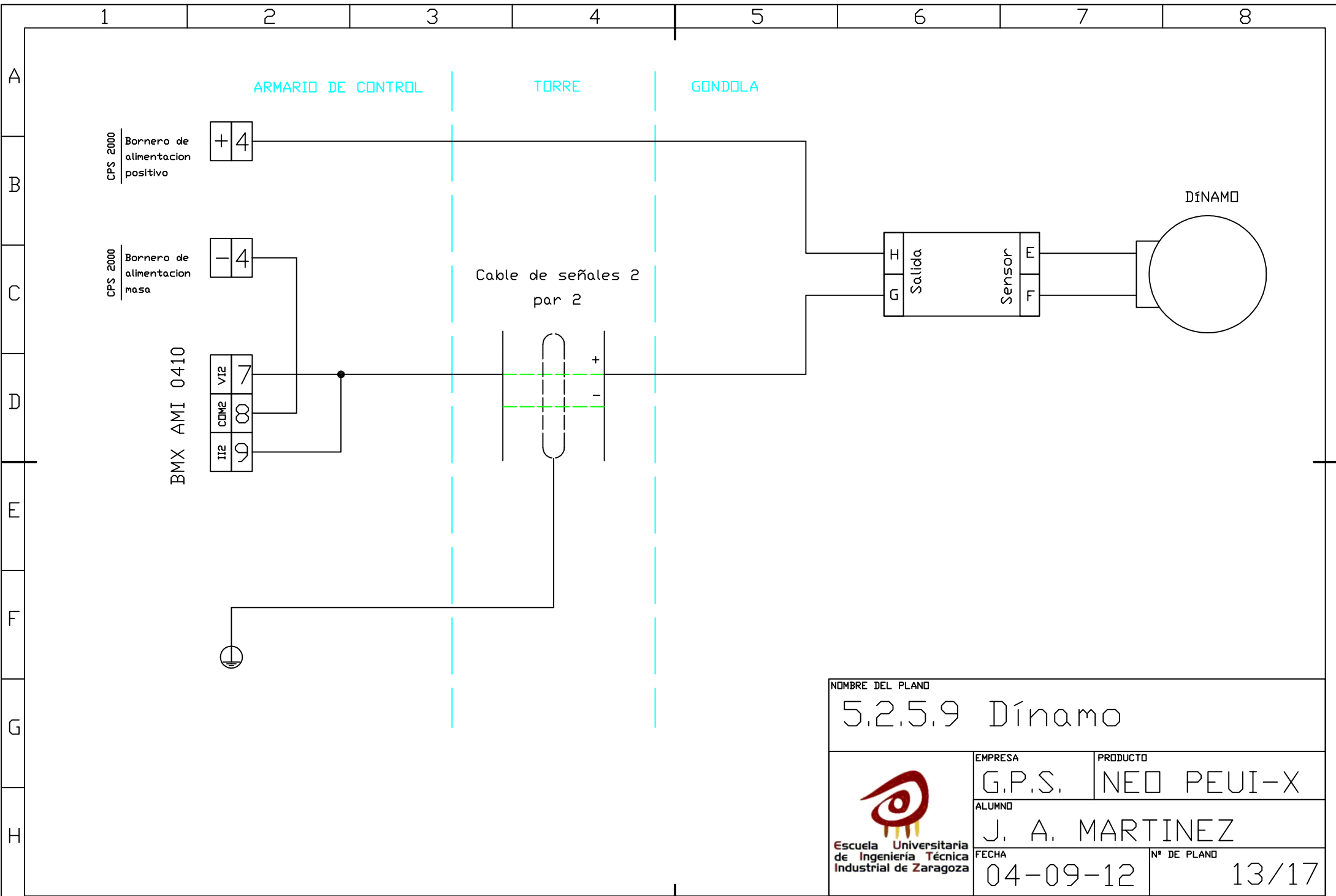
EMPRESA G.P.S.	PRODUCTO NEO PEUI-X
ALUMNO J. A. MARTINEZ	
FECHA 04-09-12	Nº DE PLANO 11/17





NOMBRE DEL PLANO		
5.2.5.8 Veleta		
EMPRESA	PRODUCTO	
G.P.S.	NEO PEUI-X	
ALUMNO		
J. A. MARTINEZ		
FECHA	Nº DE PLANO	
04-09-12	12/17	





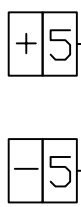
NOMBRE DEL PLANO		
5.2.5.9 Dínamo		
	EMPRESA	PRODUCTO
	G.P.S.	NEO PEUI-X
	ALUMNO	
	J. A. MARTINEZ	
	FECHA	Nº DE PLANO
	04-09-12	13/17

1 2 3 4 5 6 7 8

A  
B  
C  
D  
E  
F  
G  
H

Fuente DC 24v (100W)

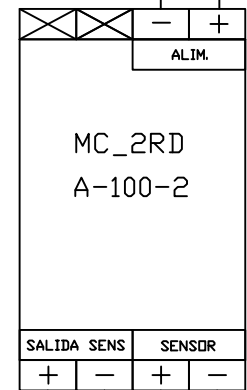
Bornero de potencia positivo  
Bornero de potencia masa



ARMARIO DE CONTROL

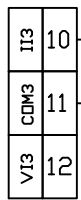
TORRE

GONDOLA



Cable de señales 2 par2

BMX AMI 0810



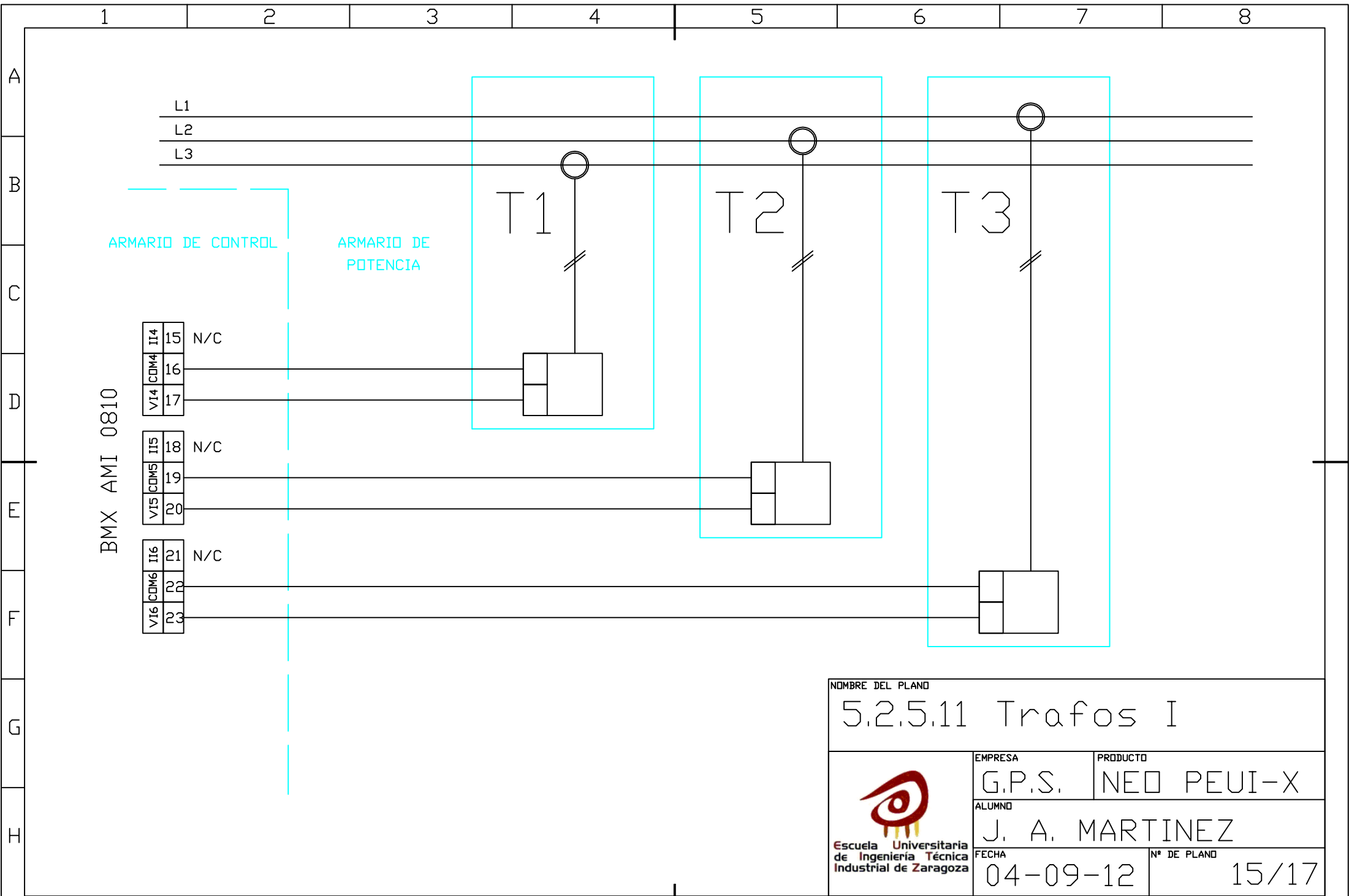
ACELEROMETRO



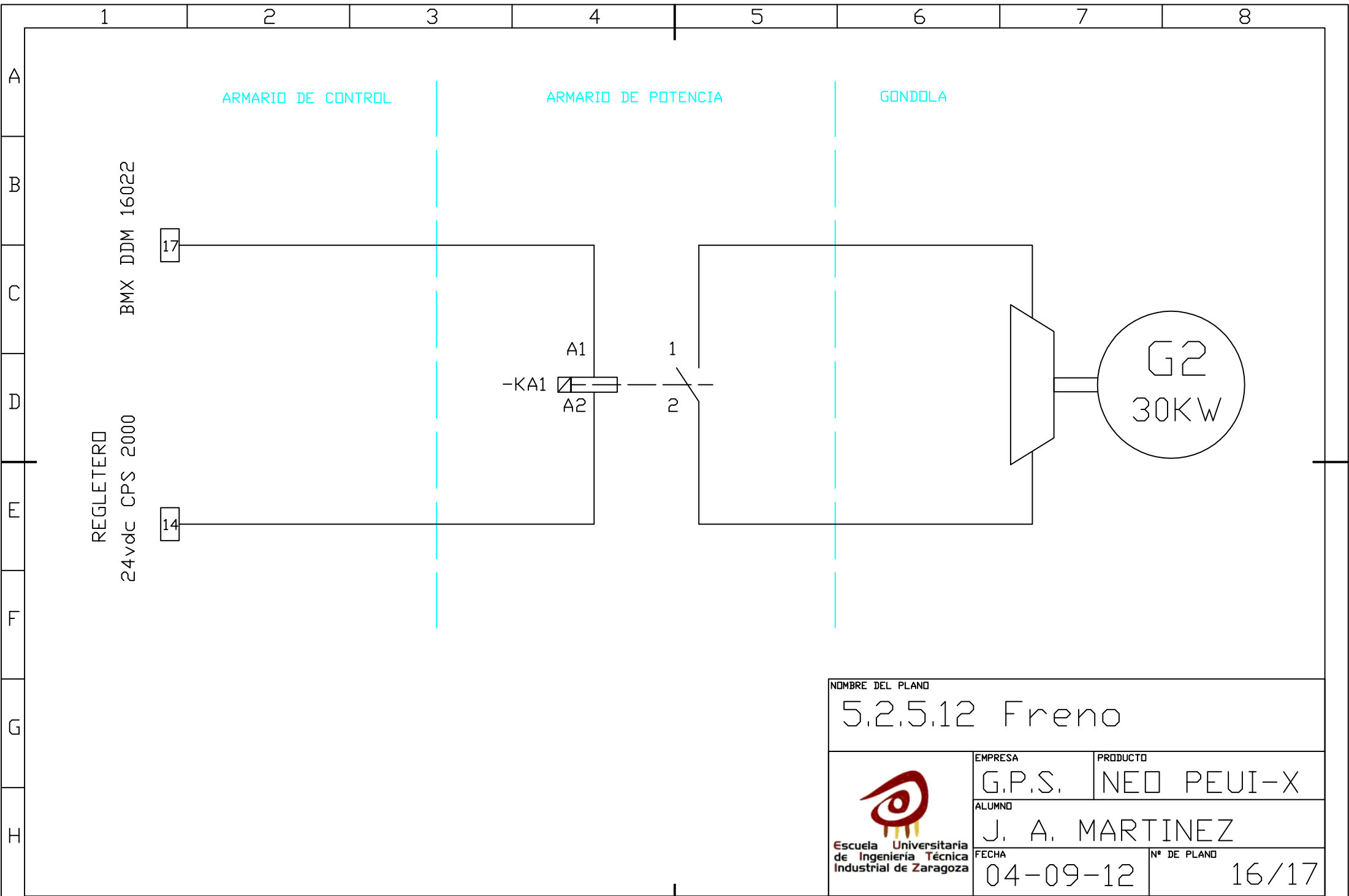
HS-102  
100-55-05

NOMBRE DEL PLANO		
5.2.5.10 Vibración		
EMPRESA	PRODUCTO	
G.P.S.	NEO PEUI-X	
ALUMNO	J. A. MARTINEZ	
FECHA	Nº DE PLANO	
04-09-12	14/17	





NOMBRE DEL PLANO		
5.2.5.11 Trafos I		
	EMPRESA	PRODUCTO
	G.P.S.	NEO PEUI-X
Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Industrial de Zaragoza	ALUMNO	
	J. A. MARTINEZ	
FECHA	Nº DE PLANO	
04-09-12	15/17	



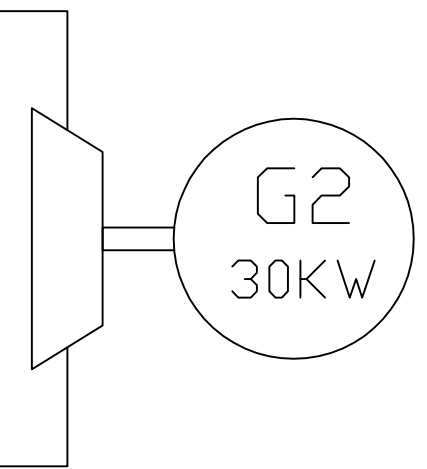
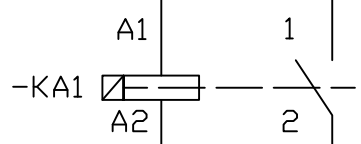
REGLETERO  
24vdc CPS 2000

BMX DDM 16022

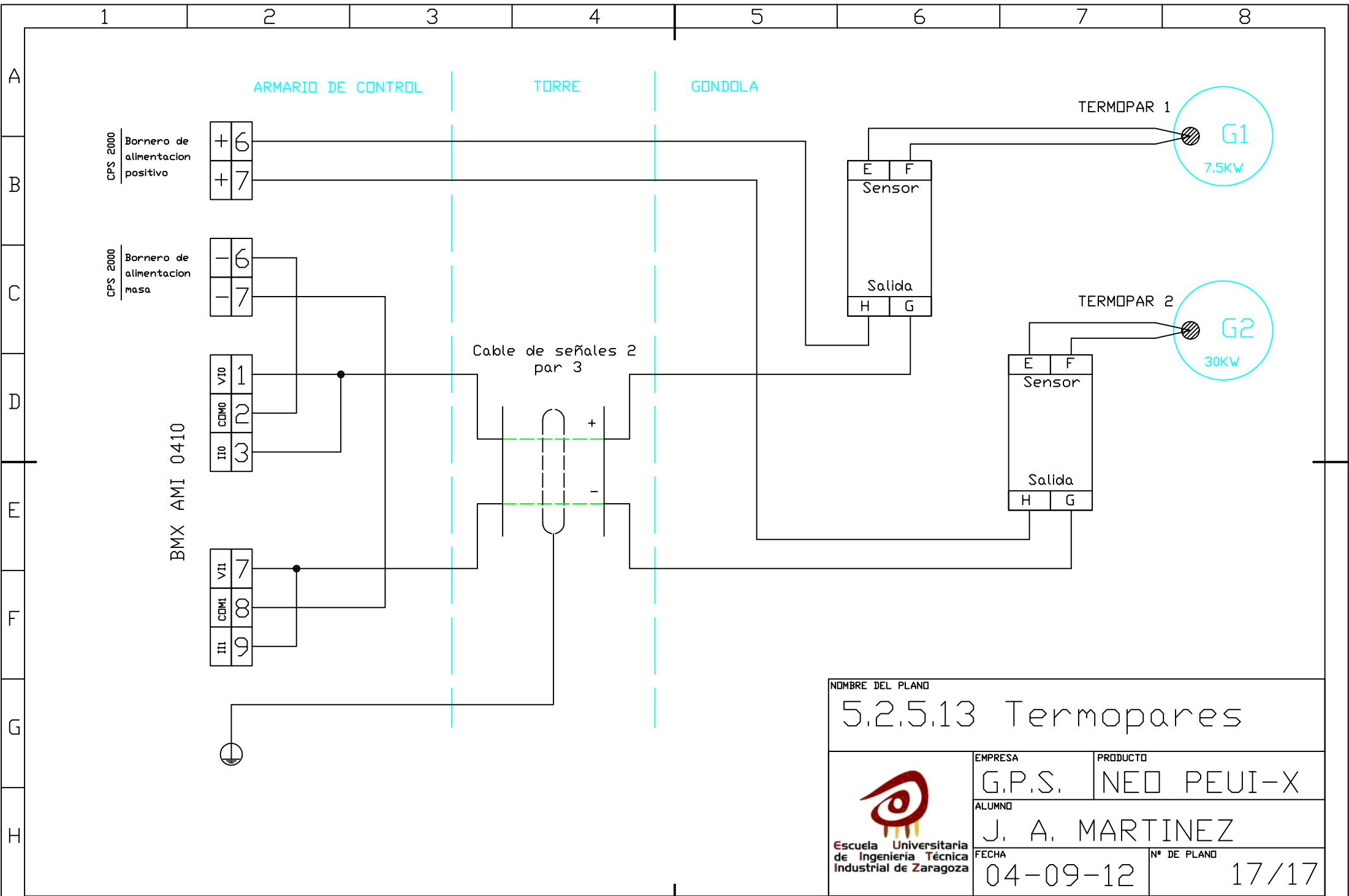
ARMARIO DE CONTROL

ARMARIO DE POTENCIA

GONDOLA



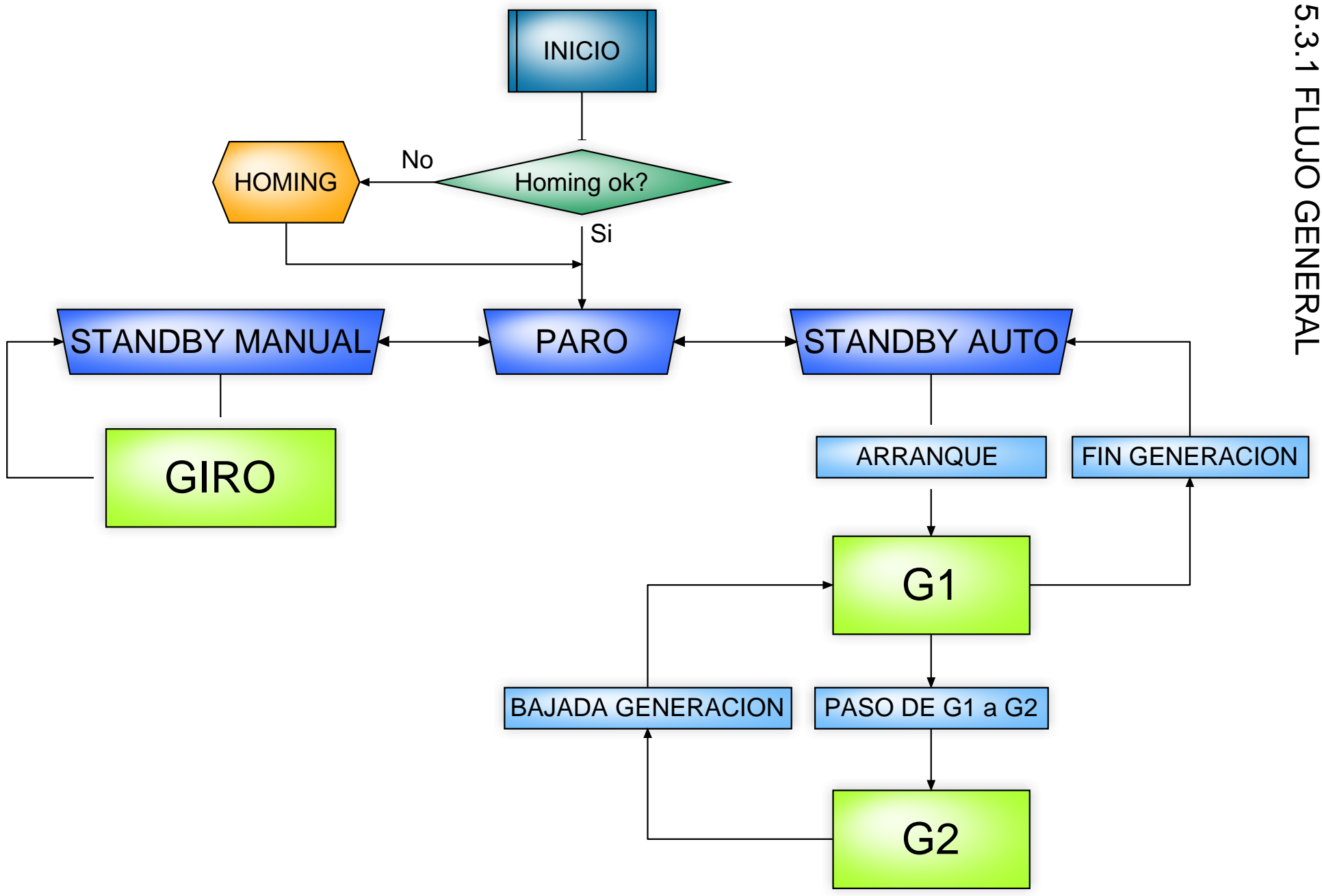
NOMBRE DEL PLANO		
5.2.5.12 Freno		
	EMPRESA	PRODUCTO
	G.P.S.	NEO PEUI-X
	ALUMNO	
	J. A. MARTINEZ	
	FECHA	Nº DE PLANO
	04-09-12	16/17



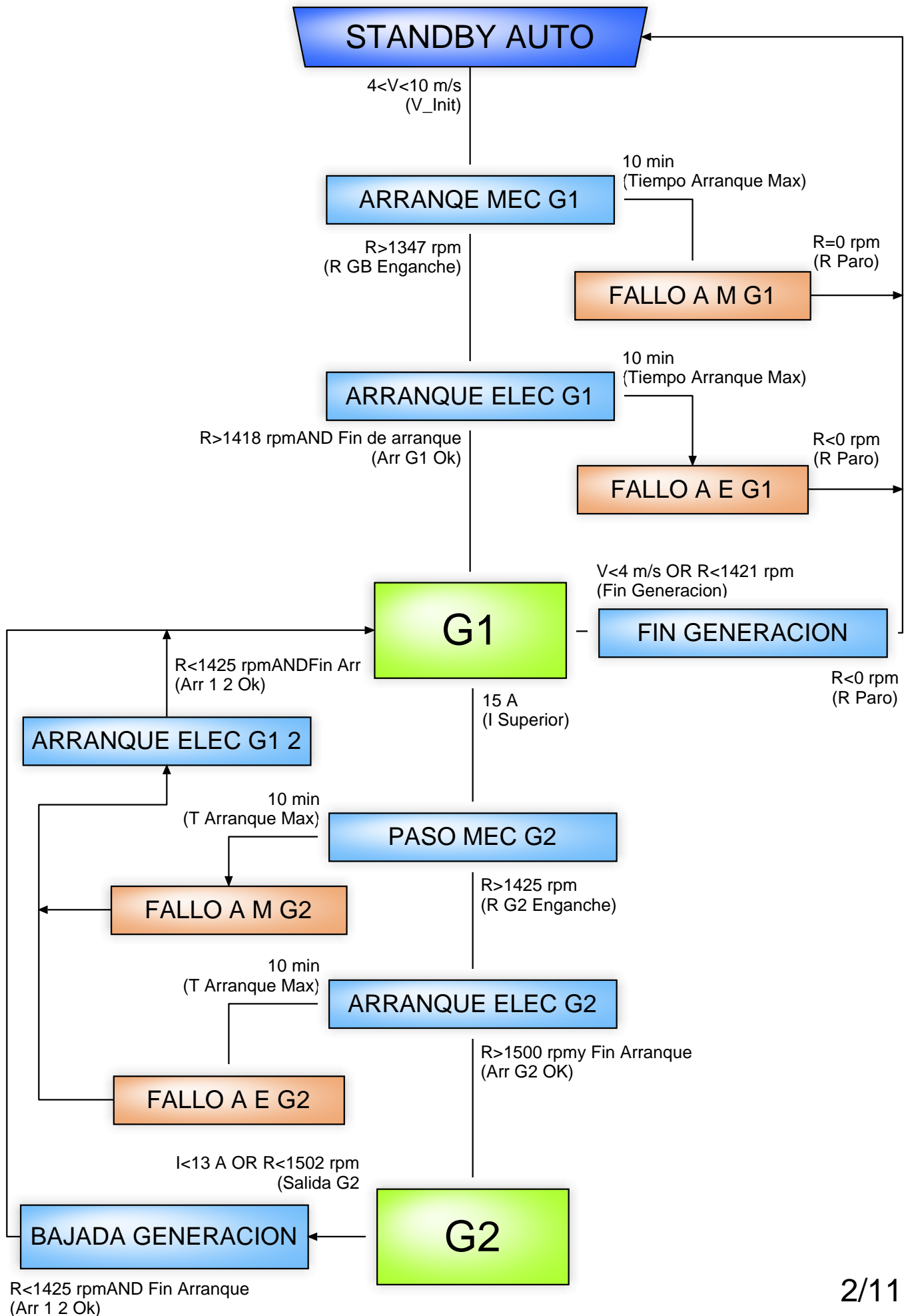
NOMBRE DEL PLANO		
5.2.5.13 Termopares		
	EMPRESA	PRODUCTO
	G.P.S.	NEO PEUI-X
	ALUMNO	
	J. A. MARTINEZ	
	FECHA	Nº DE PLANO
	04-09-12	17/17

## 5.3 Diagramas

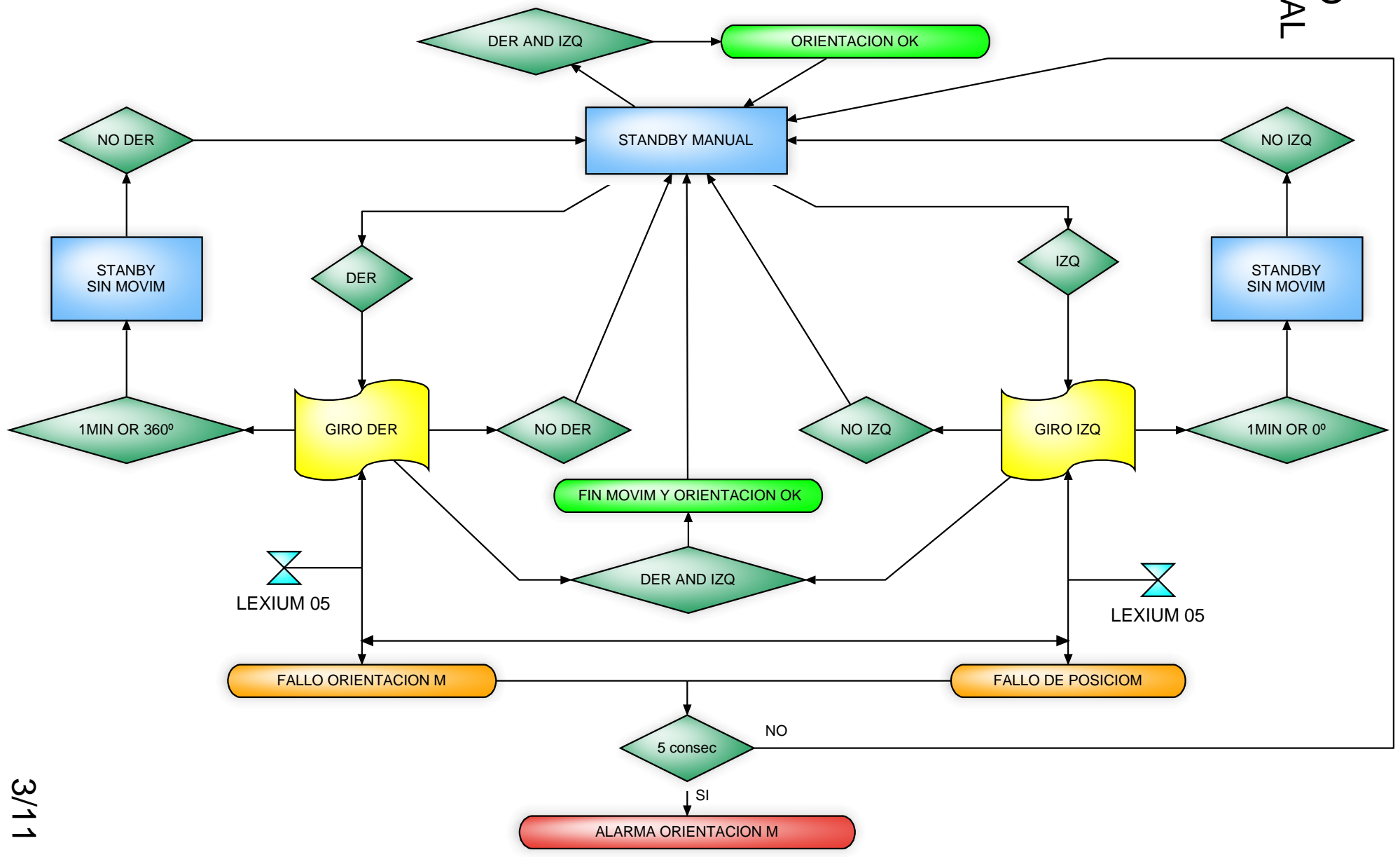




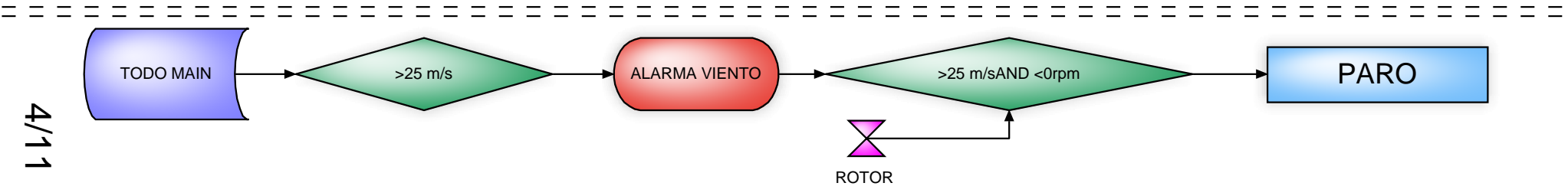
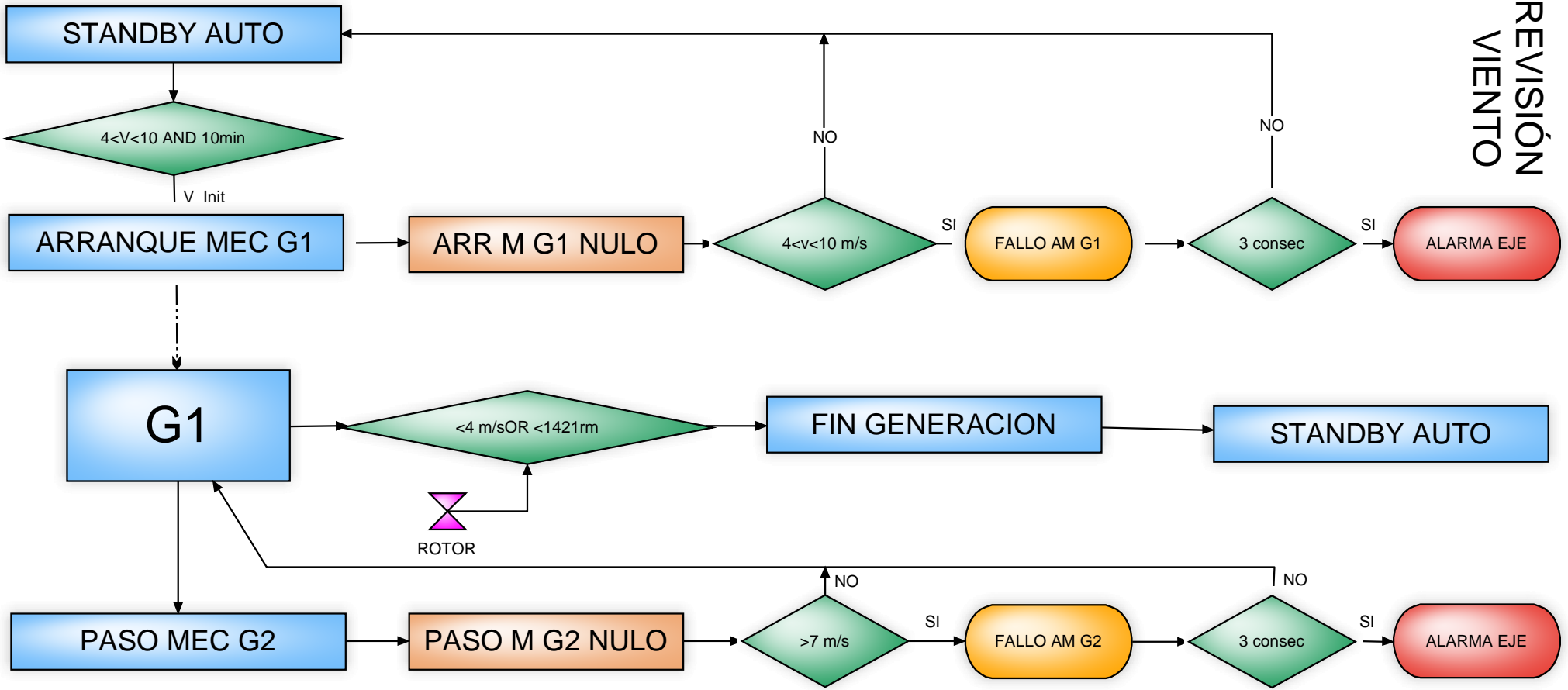
### 5.3.2 FLUJO AUTO



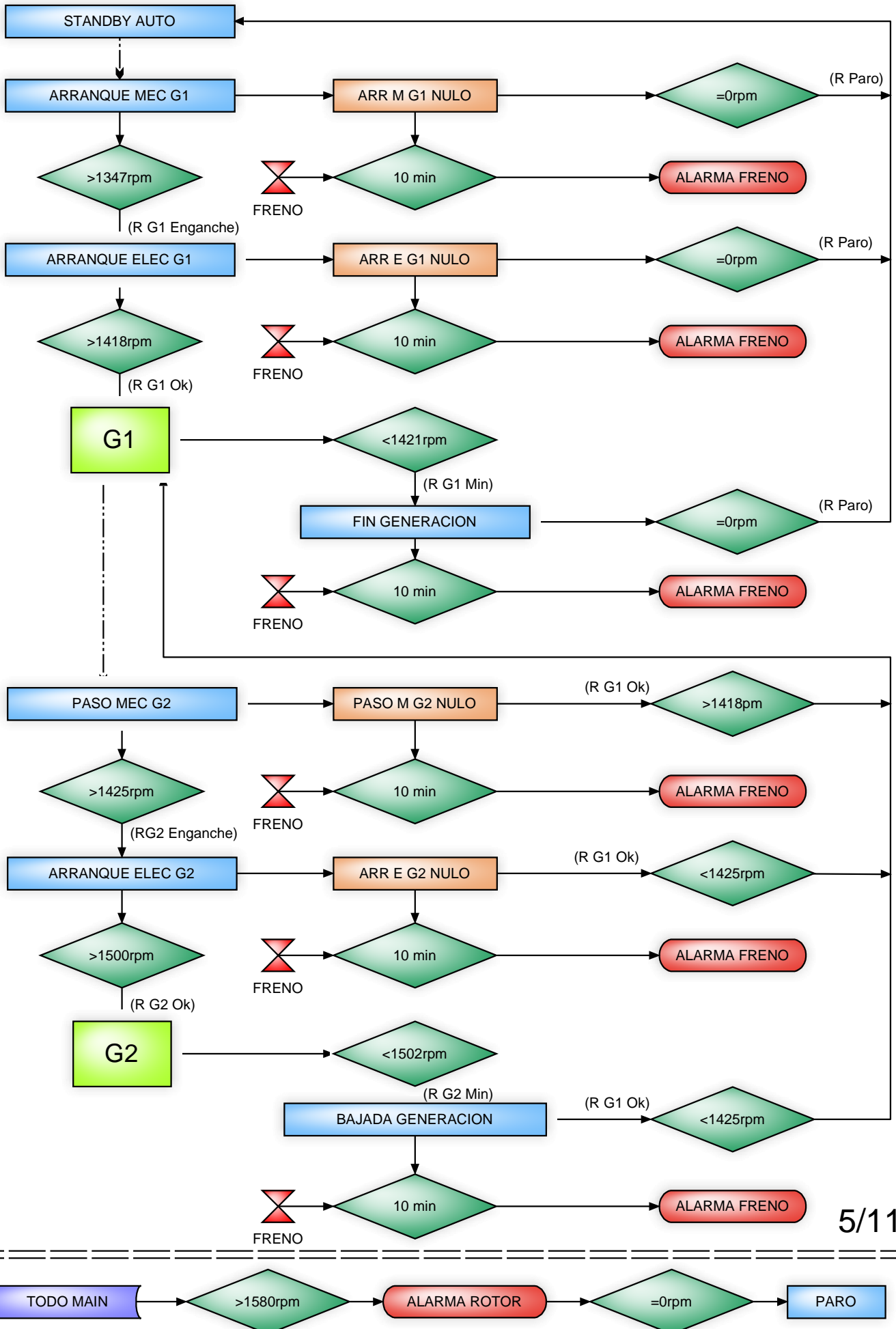
5.3.3  
FLUJO  
MANUAL



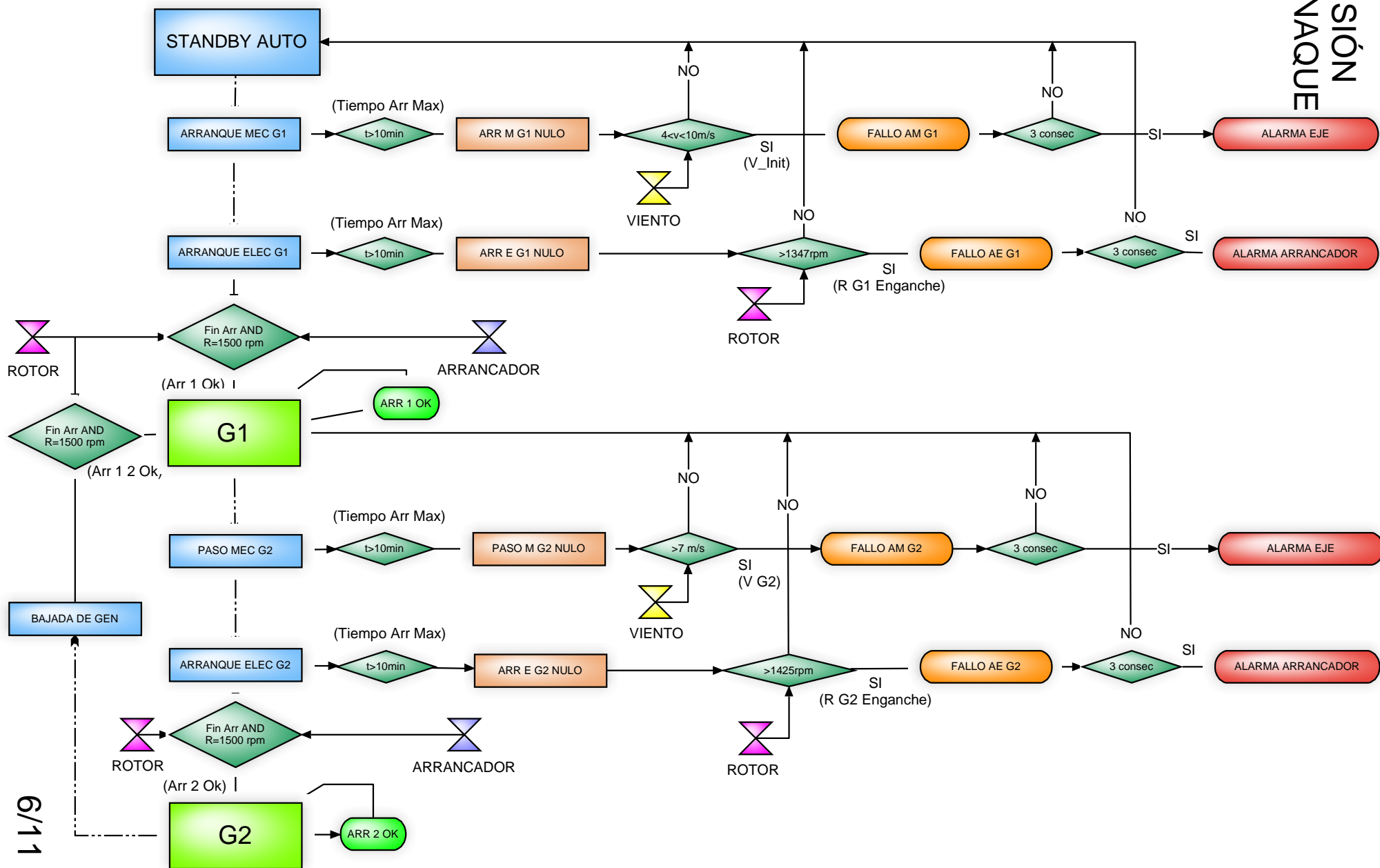
5.3.4 REVISIÓN VIENTO



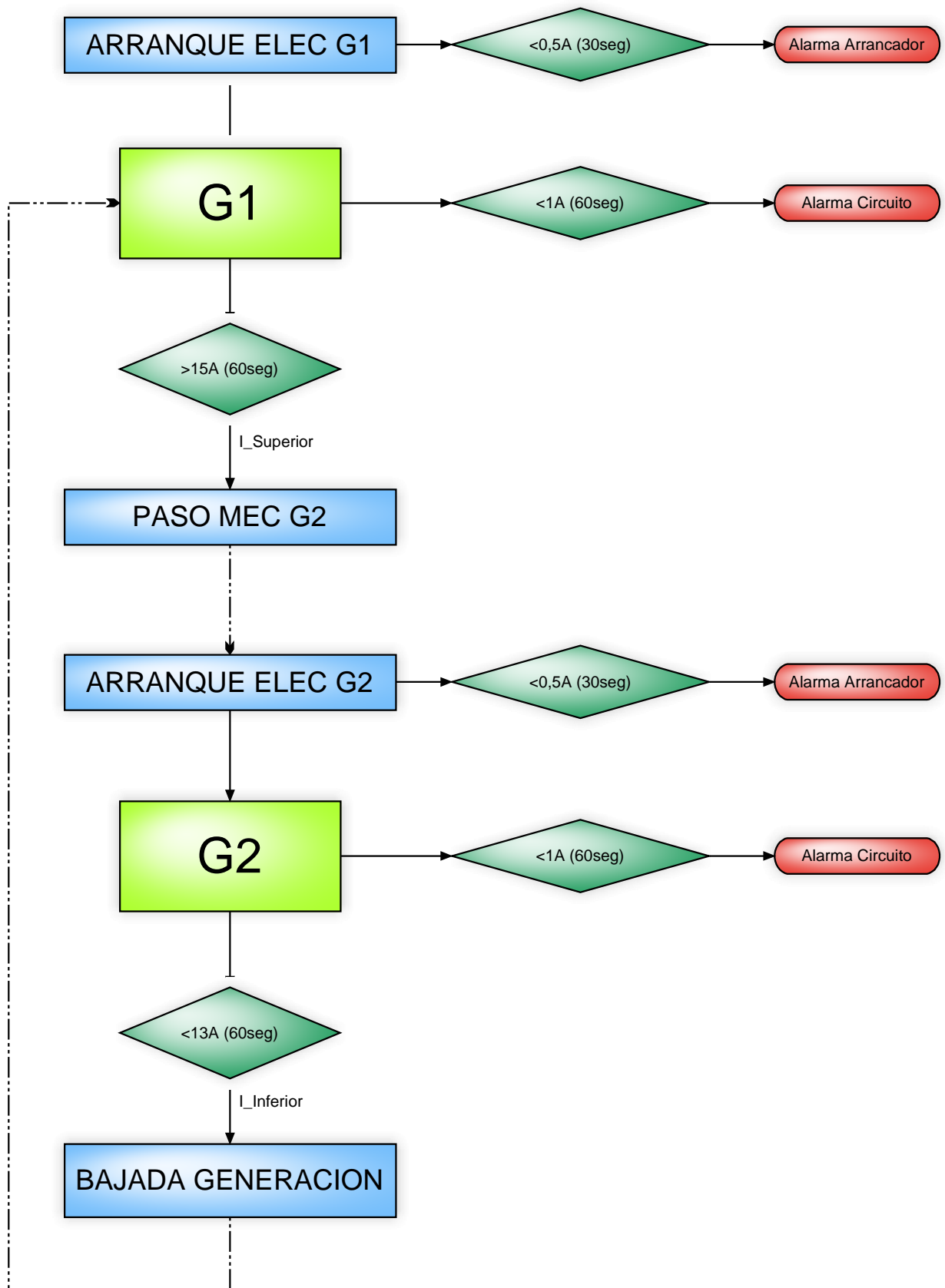
### 5.3.5 REVISIÓN ROTOR



5.3.6  
REVISIÓN  
ARRANQUE

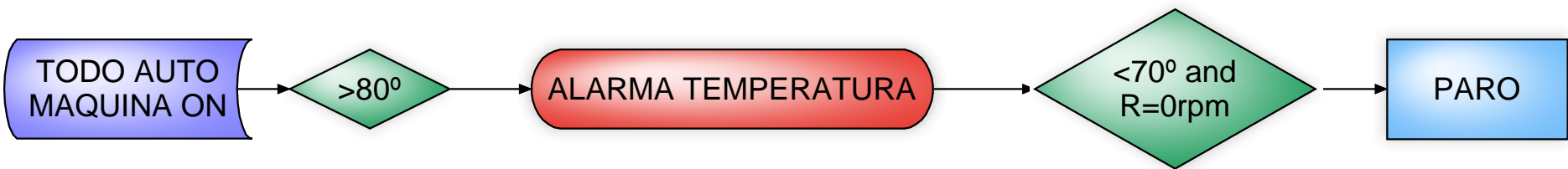


### 5.3.7 REVISIÓN INTENSIDAD

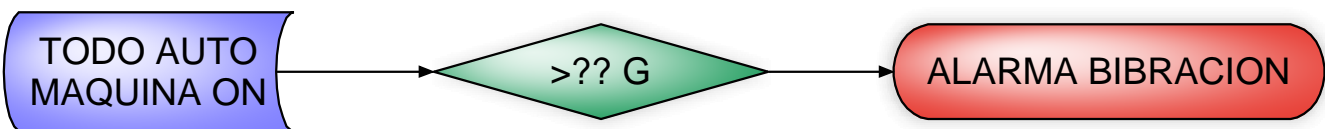


5.3.8 REVISIÓN TEMPERATURA Y VIBRACIÓN

FLUJO TEMPERATURA

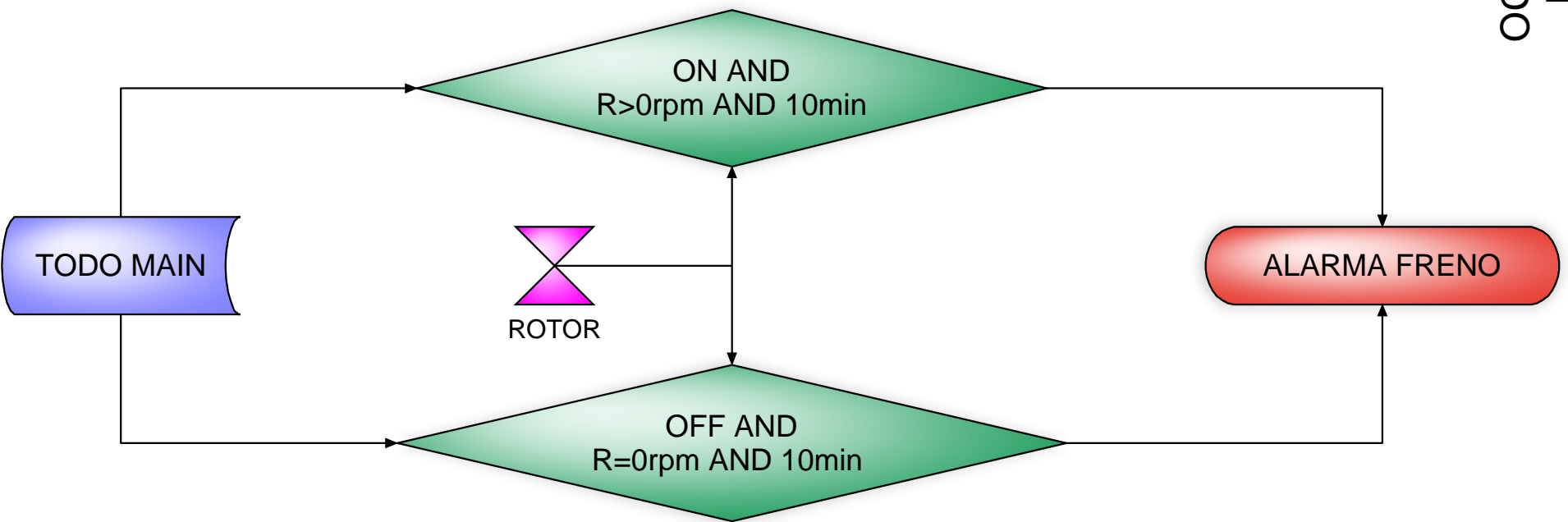


FLUJO VIBRACIÓN

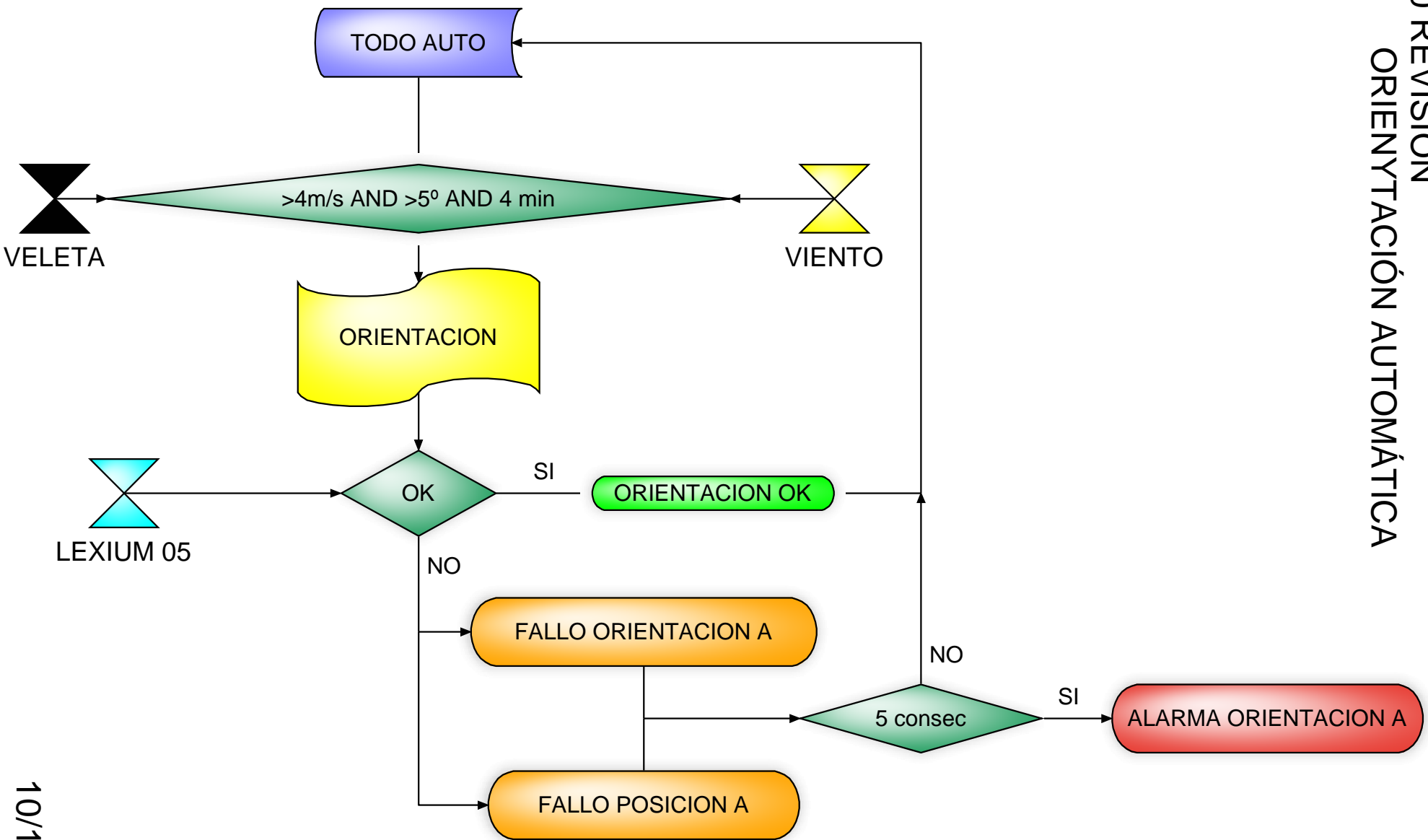




5.3.9 REVISIÓN  
FRENADO



# 5.3.10 REVISIÓN ORIENTACIÓN AUTOMÁTICA



5.3.11 REVISIÓN ORIENTACIÓN DE EMERGENCIA

