



industriales  
etsii

Escuela Técnica  
Superior  
de Ingeniería  
Industrial

# UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial

**Sistema para la gestión de parámetros y automatización de  
Motores gobernados por un PLC mediante interfaz HMI y  
Variadores de frecuencia**

**TRABAJO FIN DE GRADO**

**GRADO EN: Electrónica Industrial y Automática**

**Autor: Miguel Ángel de Maya Morales**  
**Director: Héctor David Puyosa Piña**

Cartagena, 21 de Enero de 2018



Universidad  
Politécnica  
de Cartagena



## **Agradecimientos:**

Me gustaría agradecer en primer lugar a mis padres el trabajo y esfuerzo que han tenido que realizar para que yo esté realizando este proyecto, gracias por haberme animado a continuar en momentos difíciles a lo largo de esta carrera.

Gracias a mi madre por preocuparse en mí cada semana de estos años.

Gracias a mi padre por haberme enseñado a que trabajar es la única forma de conseguir tus metas.

A mi novia que ha estado apoyándome en la etapa más dura de la carrera cuando estaba tan cerca de acabarla.

A todos mis familiares por su apoyo.

Agradecer a mi tutor D. Héctor David Puyosa Piña por preocuparse en la adjudicación de este proyecto y en la posterior realización.

Por ultimo quería dedicar este proyecto a mis abuelos Salvador y Antonia, ya que ellos han sido un ejemplo de vida y de cómo con poco se pueden conseguir grandes cosas. A mi abuelo que aunque se fue cuando comencé la carrera ya había aprendido mucho de él.

## Tabla de contenido

|       |  |        |
|-------|--|--------|
| 1     | Introducción.....  | - 6 -  |
| 1.1   | Antecedentes .....   | - 6 -  |
| 1.2   | Objeto del proyecto .....  | - 6 -  |
| 1.3   | Desarrollo en bloques del TFG .....                              | - 7 -  |
| 2     | Sistema de visualización y Estudio software .....                | - 9 -  |
| 2.1   | Repaso a la historia .....                                       | - 9 -  |
| 2.2   | Introducción.....  | - 9 -  |
| 2.3   | sistemas SCADA.....  | - 10 - |
| 2.3.1 | Introducción .....   | - 10 - |
| 2.3.2 | Objetivos que buscamos con SCADA .....                           | - 10 - |
| 2.3.3 | Prestaciones de nuestro sistema SCADA .....                      | - 11 - |
| 2.3.4 | Arquitectura de nuestro sistema SCADA .....                      | - 11 - |
| 2.3.5 | Módulos de nuestro sistema SCADA .....                           | - 13 - |
| 2.4   | Interfaz hombre-máquina (HMI).....                               | - 14 - |
| 3     | Comunicaciones industriales .....                                | - 15 - |
| 3.1   | Introducción.....  | - 15 - |
| 3.2   | Buses de Campo .....   | - 15 - |
| 3.2.1 | Introducción .....   | - 15 - |
| 3.2.2 | Requisitos de un bus de campo.....                               | - 16 - |
| 3.3   | Bus de campo requerido en nuestro sistema SCADA (Ethernet) ..... | - 16 - |
| 3.3.1 | Introducción .....   | - 16 - |
| 3.3.2 | Evolución.....   | - 17 - |
| 3.3.3 | Elementos de la red .....  | - 17 - |
| 3.3.4 | Tipos de transmisión.....  | - 18 - |
| 4     | Estudio de seguridad en maquinas .....                           | - 19 - |
| 5     | Estudio de elementos hardware que componen este proyecto .....   | - 24 - |
| 5.1   | Motores eléctricos .....   | - 24 - |
| 5.1.1 | Introducción .....   | - 24 - |
| 5.1.2 | Fundamentos teóricos .....                                       | - 24 - |
| 5.1.3 | Aplicación de los fundamentos teóricos.....                      | - 27 - |
| 5.1.3 | Motores asíncronos .....   | - 29 - |
| 5.2   | Autómata programable .....                                       | - 36 - |
| 5.2.1 | Introducción .....   | - 36 - |
| 5.2.2 | Descripción.....   | - 36 - |
| 5.2.3 | Puesta en marcha .....   | - 39 - |
| 5.3   | Pantalla táctil HMI .....  | - 41 - |

|       |  |        |
|-------|--|--------|
| 5.3.1 | Introducción .....   | - 41 - |
| 5.3.2 | Descripción.....   | - 41 - |
| 5.3.3 | Puesta en marcha .....   | - 42 - |
| 5.4   | Variador de frecuencia .....                                   | - 43 - |
| 5.4.1 | Introducción .....   | - 43 - |
| 5.4.2 | Descripción.....   | - 43 - |
| 5.4.3 | Puesta en marcha .....   | - 45 - |
| 7     | Desarrollo de los ejemplos prácticos.....                      | - 47 - |
| 7.1   | Solución implantada.....                                       | - 47 - |
| 7.2   | Configuración de los ejemplos en TIA PORTAL .....              | - 49 - |
| 7.3   | Cinta Transportadora .....                                     | - 60 - |
| 7.3.1 | Automatización Cinta Transportadora.....                       | - 62 - |
| 7.3.2 | Detalles de la programación en TIA PORTAL.....                 | - 65 - |
| 7.4   | Proceso de Selección de Cajas .....                            | - 75 - |
| 7.4.1 | Automatización Proceso de Selección .....                      | - 76 - |
| 7.4.2 | Detalles de la programación en TIA PORTAL.....                 | - 81 - |
| 8     | Experimentación y carga del programa en los dispositivos ..... | - 85 - |
| 9     | Conclusiones y Resultados .....                                | - 88 - |
| 10    | Bibliografía.....  | - 90 - |
| 11    | Anexos .....   | - 91 - |
| 11.1  | Hojas de Datos .....   | - 91 - |
| 11.2  | Desarrollo del proyecto en TIA PORTAL. ....                    | - 96 - |

## 1 Introducción

### 1.1 Antecedentes

La necesidad de automatizar prácticamente todos los procesos industriales para aumentar la productividad, eficiencia, calidad, seguridad, y demás factores han hecho imprescindible desde la década de los 70 la implantación de sistemas remotos de control y visualización de infinidad de parámetros del sector industrial. Resultado de esta necesidad surgieron los autómatas programables, pequeños dispositivos que procesan en tiempo real toda la información recibida desde sensores en la zona de campo y permiten mediante interfaces visuales que el operador pueda visualizar sus estados. Estos dispositivos en los años 70 incorporaron microcontroladores aumentando sus prestaciones a nivel de operaciones aritméticas, entradas y salidas analógicas, redes de comunicación, lenguajes de programación etc. A partir de los años 80 mejoraron las cualidades considerablemente de estos dispositivos al introducir los microprocesadores como “cerebro” de estos.

A petición del departamento de Ingeniería Electrónica de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial de la Universidad Politécnica de Cartagena, se va a realizar un Sistema para la gestión de parámetros y automatización de motores gobernados por un autómata programable mediante interfaz gráfico HMI y variadores de frecuencia. La consecución de este sistema es un proyecto de fin de estudio que de acuerdo con la legislación vigente sirve para la obtención del título en Ingeniería Electrónica Industrial y Automática y a su vez se encuentra sujeto a la aprobación del tribunal del Departamento y Organismos oficiales pertinentes.

### 1.2 Objeto del proyecto

El presente proyecto tiene como principal objeto la realización de 2 sistemas de control y visualización de parámetros de 2 motores mediante un sistema SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition). Para que este objeto sea más específico realizaremos una aplicación para cada sistema. El primer sistema corresponde al control y visualización de diferentes parámetros de una cinta transportadora. El segundo sistema corresponde a un proceso automatizado de selección de tamaños de cajas en el que se introduce un elevador que hará el papel de elevar las cajas de menor altura a otra cinta.

Otro objeto de este proyecto es el estudio de seguridad en máquinas industriales. Para que se lleve a cabo su fabricación y posterior comercialización estas deben de cumplir diferentes requisitos y poseer certificados de calidad aprobados por los organismos competentes en cada comunidad autónoma. Este estudio se basará en el Real Decreto 1435/1992 de 27 de noviembre sobre seguridad en máquinas.

Este proyecto también contará con anexos donde se amplíe información de ciertos detalles y donde estará implementado el desarrollo completo de los dos sistemas prácticos en TIA PORTAL.

### 1.3 Desarrollo en bloques del TFG

Para la consecución de este proyecto hemos tenido antes que desarrollar estos nueve bloques aquí explicados:



- El primer bloque surge con la propuesta del proyecto: Siempre he estado interesado en el mundo de la automatización y el hecho de tener que realizar el TFE para concluir el grado en IELyA me ofrecía la posibilidad de entrar en contacto con este campo. D. Héctor Puyosa me ofreció la posibilidad de trabajar en el control de dos motores asíncronos gobernados por un PLC a través de dos variadores de frecuencia y acepte la propuesta

- El segundo bloque se centró en definir el objeto y características del proyecto: Debíamos aplicar el control y visualización a dos sistemas industriales para que el proyecto tuviese mayor cercanía con el mundo industrial. Ya que esta tan extendido en las líneas industriales decidimos apostar por el control de una cinta transportadora y un seleccionador de cajas que incluye un elevador industrial de carga. Estas aplicaciones nos iban a permitir optimizar algunos procesos y favorecer la seguridad en las instalaciones ya que los dispositivos utilizados dígase variador de frecuencia y PLC disponen de mecanismos para la detección de fallos y Alarmas.

- El tercer bloque ha consistido en la recopilación y estudio del material necesario para implementar la solución de cada sistema tanto hardware/software, como libros de regulación de motores, manuales de cada dispositivo y Reglamentos de seguridad en máquinas industriales.

- En el cuarto bloque hemos realizado el estudio de seguridad en máquinas basándonos en el Real Decreto 1435/1992 de 27 de Noviembre, de seguridad en máquinas aprobado por el ministerio de Industria de España.

- El quinto bloque nos llevó a realizar los esquemas de conexionado a la red y el conexionado entre dispositivos. Se decidieron aspectos técnicos del montaje de estos como

puede ser tipo de comunicación entre ellos, disposición de entradas y salidas del autómatas programable

- El sexto bloque se ha desarrollado la programación necesaria para cada sistema: Realizando un estudio de las funciones necesarias que debían de cumplir, elaborando un diagrama secuencial de los procesos llamado GRAFCET que nos ayudara a la resolución de estos. Después de la resolución de estos diagramas tuvimos que introducir estos en lenguaje de contactos en un proyecto utilizando el Software que nos proporciona el fabricante de autómatas programables, en este caso llamado TIA PORTAL suministrado por la empresa SIEMENS Industry.

- En el séptimo bloque se ha verificado que cada dispositivo está en disposición de comunicarse con la red creada para así cargar los programas en cada uno de ellos mediante el bus de campo que hemos decidido utilizar, en este caso Ethernet TCP/IP. Después realizamos pruebas en los dos sistemas implementados mediante el sistema SCADA y nuestra interfaz HMI con el fin de depurar todos los posibles fallos de programación y el ajuste de las consignas asignadas a los parámetros controlados.

- En el octavo bloque se procedió a verificar que todas las aplicaciones y funciones requeridas para cada sistema se encuentra en perfecto funcionamiento para ser el programa definitivo del proyecto que se cargara en los dispositivos utilizados, PLC, pantalla táctil, y por último variadores de frecuencia.

- En el noveno y último bloque se realizó un balance de resultados, experiencias adquiridas y conclusiones del proyecto.

## 2 Sistema de visualización y Estudio software

### 2.1 Repaso a la historia

Cuando la automatización comenzaba a implantarse en las industrias más desarrolladas las soluciones de automatización eran generalmente individualizadas “señal a señal” con todo el cableado que esto conllevaba. Quien se encontraba con un problema de automatización diseñaba un elemento electrónico “hardware” específico para solucionarlo. Se utilizaban lenguajes de programación poco conocidos y las memorias de los sistemas eran reducidas por lo que debían de transmitirse datos continuamente.

Con la necesidad de manejar grandes cantidades de entradas y salidas en sectores como la automoción o la industria alimentaria en los años setenta apareció una nueva generación de autómatas de fabricantes de equipos eléctricos como Siemens o Allen Bradley. Estos dispositivos se diseñaron para soportar condiciones de trabajo severas por tanto eran grandes, pesados y muy caros. Con la evolución electrónica los componentes fueron perdiendo en tamaño y coste lo que permitió la llegada del micro PLC en los años ochenta, que solucionaba las necesidades del momento y ya trabajaba con sistemas de programación genéricos lo que fue un éxito en la industria.

### 2.2 Introducción

Para el control de una máquina o instalación que se precie por muy simple que esta sea será necesario para el usuario tener información visual de cómo está funcionando, por ejemplo un sencillo indicador de aguja para la presión en un circuito neumático. Esto ha hecho que a medida que los sistemas de control han ido evolucionando y se han hecho cada vez más complejos, han ido evolucionando paralelamente los elementos que proporcionan la información a este.

Las necesidades de ver a distancia y controlar una maquina aparecieron en los primeros cuadros de control donde multitud de luces indicaban el estado de la máquina. Pero esto conllevaba cablear cada señal al cuadro de control. Con la aparición de la informática y vista la necesidad de hacer el proceso más sencillo y económico los fabricantes desarrollaron paquetes software capaces de comunicarse con los sistemas de control permitiendo mayor flexibilidad y rendimiento

En la actualidad los sistemas informáticos nos permiten visualizar los parámetros de control en monitores o pantallas táctiles y con la irrupción de internet en el mundo ahora podemos conectarnos al sistema de control desde cualquier parte del mundo con solamente la dirección IP de este.

## 2.3 sistemas SCADA

### 2.3.1 Introducción

SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) da nombre a cualquier sistema que permita el acceso a datos remotos de un proceso y permita utilizando las herramientas necesarias en cada caso, el control del mismo.

Este no se trata de una tecnología específica software sino que son todas las aplicaciones que permiten el control y monitorización o supervisión, obteniendo datos operativos del sistema o proceso.

Para obtener el máximo rendimiento a la instalación de un SCADA debemos cumplir:

- Conseguir una arquitectura abierta que permita combinaciones con aplicaciones estándar y de usuario que permitan a los integradores crear soluciones de mando y supervisión optimizadas.
- Sencillez en la instalación, con interfaces amigables con el usuario.
- Poder integrar herramientas ofimáticas y de producción.
- Sea fácilmente configurable y escalable para crecer o adaptarse según las necesidades de la empresa.
- Integre funciones de mando y supervisión.
- Tenga comunicaciones flexibles para poder comunicarse de forma transparente con el usuario y el equipo de planta y con el resto de la empresa.

### 2.3.2 Objetivos que buscamos con SCADA

Como hemos indicado los sistemas SCADA se utilizan como herramientas de supervisión y mando pero también destacan otros objetivos tales como:

- Ahorro económico: El operador puede ver qué sucede en la línea sin necesidad de mandar un operario.
- Mayor accesibilidad: Posibilidad de cambiar parámetros de funcionamiento de manera rápida y sencilla.
- Mantenimiento eficaz: Gracias a la adquisición de datos de los procesos, podemos generar históricos para aproximar las fechas de revisión y prevenir roturas.
- Mayor Ergonomía: La relación entre hombre-máquina se hace mucho más cercana, evitando aburrir al usuario.
- La gestión de todos los datos puede ser valorada mediante herramientas estadísticas, graficas, que permiten explotar el sistema con el mejor rendimiento posible.
- Mayor flexibilidad ya que cualquier cambio de alguna característica del sistema de visualización no provoca modificaciones físicas que requieran nuevos cableados.
- Permiten la interconexión de diferentes proveedores de sistemas y evita la existencia de lagunas informáticas.

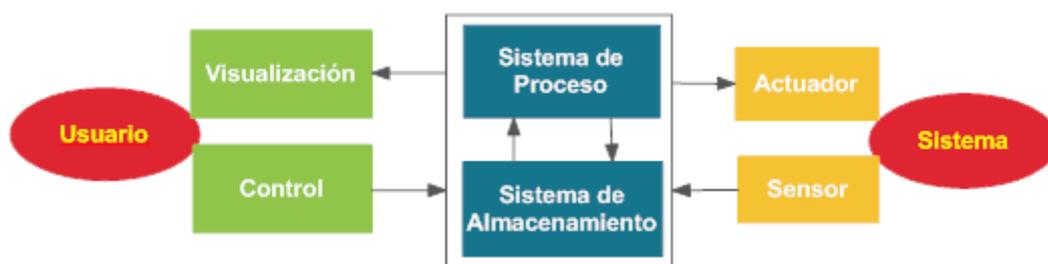
### 2.3.3 Prestaciones de nuestro sistema SCADA

Nuestro sistema SCADA contará con las siguientes prestaciones para establecer una comunicación más clara entre el proceso y el operador:

- **Monitorización:** Se representaran datos del sistema en tiempo real al operador de planta leyendo los datos recogidos por el autómatas por ejemplo el estado de los detectores de posición en el elevador.
- **Supervisión:** Cumplirá trabajos de supervisión de parámetros de buen funcionamiento para evitar males mayores como roturas de componentes mecánicos o daños personales.
- **Visualización de los estados de variables:** Podremos visualizar eventos y alarmas por ejemplo la sobrecarga térmica en el variador de frecuencia de la cinta transportadora creara un aviso en nuestra pantalla.
- **Mando:** El operador tendrá la posibilidad de cambiar consignas u otros parámetros desde la pantalla táctil.
- **Seguridad en los datos y en los accesos:** Se protegerá el programa de intrusos y el mando de control a personal no autorizado para evitar fallos en el funcionamiento y posibles accidentes laborales.

### 2.3.4 Arquitectura de nuestro sistema SCADA

Para tener una idea general de la estructura de nuestro sistema de supervisión y mando vemos la siguiente figura:



El usuario mediante herramientas de visualización y control tendrá acceso al Sistema de Control de Proceso. El sistema de proceso capta el estado del sistema a través de los elementos sensores e informa al usuario a través de la pantalla táctil HMI. A continuación el sistema de procesos basándose en los comandos ejecutados por el usuario inicia las acciones pertinentes para mantener el control del sistema a través de los actuadores.

La transmisión de datos de datos entre el sistema de procesos y los elementos de campo (sensores, actuadores) se llevara a cabo mediante un bus de campo que se explicara en siguientes apartados.

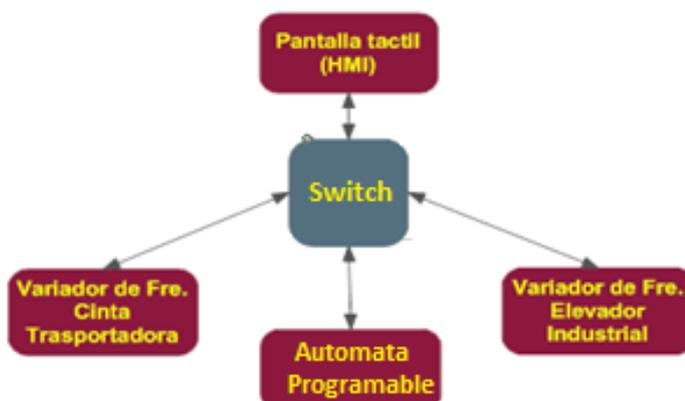
Nuestro sistema SCADA está dividido por el hardware y el software

### 2.3.4.1 Hardware

Los elementos que componen el hardware están divididos en dos bloques:

- Captador de datos: Este dispositivo es el encargado de recopilar datos de los elementos de control del sistema y los procesa para su utilización. En este caso el dispositivo que responde a estas características es un PLC Siemens S7-1200.
- Utilizadores de datos: Son dispositivos que utilizan la información recogida por los anteriores. Estos son los siguientes:
  - Interface Hombre – Máquina (HMI): En nuestros dos sistemas a implantar en este proyecto se empleara una pantalla táctil como HMI con diferentes pantallas definidas para cada función implementada, consignas, alarmas, etc.
  - Unidades Remotas (RTU): Estas se encargan de recopilar los datos de los elementos de campo y transmitirlos hacia la unidad central de procesamiento de datos. En nuestros dos sistemas estos dispositivos serán dos variadores de frecuencia, los que captaran las diferentes variables necesarias para el correcto funcionamiento de los procesos.

La tipología de nuestra red que nos marca como se comunican nuestros dispositivos entre sí, es una tipología Multipunto dedicado. Esta comunicación es de tipo maestro – esclavo, con un solo sistema de control conectado a varias estaciones remotas mediante enlaces directos permanentes. Esta configuración es delicada ya que todo el tráfico de la red se centra en un solo nodo como es la HUB (Host Unit Broadcast), de nuestra red Ethernet, el rendimiento de nuestra red dependerá de esta. Esta HUB que sería un switch debe poder gestionar todo el tráfico generado por el resto de dispositivos de nuestros dos sistemas, Cinta Transportadora y Seleccionador de cajas. De una forma gráfica vemos la estructura de la red:



#### 2.3.4.2 Software

En nuestro sistema de control gobernado por un PLC, unos programas llamados driver nos permiten comunicarnos con los dispositivos de control de planta, autómatas, variadores de frecuencia. Una parte de estos driver contiene los controladores de comunicación, tratamiento de la información y el protocolo de comunicación que vamos a utilizar en este caso Ethernet.

El driver o controlador realiza la función de traducir entre el lenguaje de programa SCADA y el del PLC. La configuración del controlador de comunicaciones se realiza mediante el Software TIA PORTAL que nos proporciona la marca de los dispositivos que vamos a utilizar, asignando el tipo de comunicación y cargando esta configuración a cada dispositivo.

#### 2.3.5 Módulos de nuestro sistema SCADA

Nuestro sistema SCADA visto desde la parte de desarrollo gráfico se compone de los siguientes módulos:

- **Configuración:** Aquí se organiza la estructura de pantallas, estableciendo un desarrollo en línea o en árbol. Donde también se clasifican a los usuarios según su importancia o jerarquía en la empresa creándose privilegios que permitan su influencia en el sistema.
- **Interfase gráfica:** Estas permiten la elaboración de distintas pantallas de usuario con variedad de funciones de control y supervisión. Gracias a librerías de objetos podemos relacionar variables del sistema a objeto ya creados en nuestra herramienta WinCC de forma muy sencilla y cambiar la configuración de funcionamiento si estamos interesados en otros parámetros de la instalación.
- **Alarmas y eventos:** Las alarmas se basan en parámetros recogidos de algunas variables del sistema. Son sucesos no deseados ya que con su aparición se podría tener que parar el sistema o causar daños en él. Los eventos son datos que se almacenan del proceso para su posterior visión o consulta como por ejemplo los contadores de cajas en el proceso de selección de cajas.
- **Comunicaciones:** El sistema de comunicación soporta el intercambio de información entre los elementos de planta y los elementos de gestión del proceso.

## 2.4 Interfaz hombre-máquina (HMI)

Los interfaces HMI podemos pensarlos como ventanas que permiten al hombre comunicarse con la máquina. Estas ventanas pueden estar contenidas en dispositivos como pantallas táctiles o en un ordenador. Las señales del proceso son introducidas al HMI mediante dispositivos como entradas/salidas en el ordenador, PLC'S, RTU (Unidad remotas I/O) o drives por ejemplo variadores de frecuencia. Todos estos sistemas deben tener un lenguaje de comunicación que pueda leer nuestro interfaz HMI.

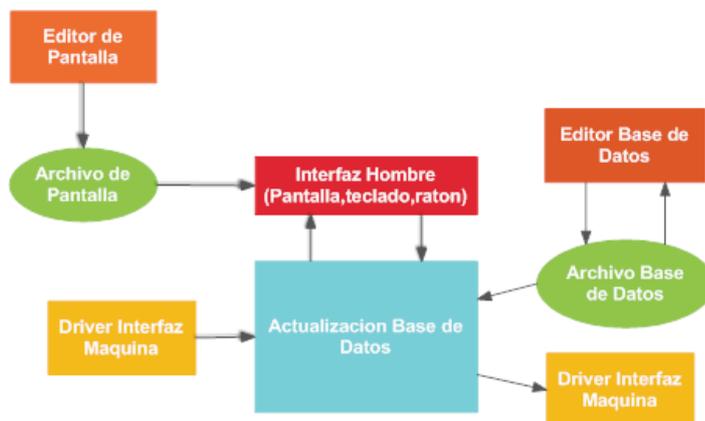
Dependiendo del nivel de generalidad y funciones que va a desempeñar nuestro sistema HMI pueden contemplarse dos tipos:

- Se desarrolla un entorno a medida de programación grafica para cumplir todas funcionalidades requeridas por el usuario, este podría ser en lenguajes como VC++. Visual Basic, Delphi, etc.
- Se desarrolla el entorno grafico de paquetes enmarcados de software que contemplan la mayoría de las funciones necesarias en los sistemas SCADA, por ejemplo WinCC de Siemens o wonderware. Este tipo de software destinados a el diseño de paquetes orientados a sistemas HMI/SCADA facilitan las tareas de diseño, incorporan protocolos para comunicarse con los dispositivos de campo más conocidos, permiten crear y animar pantallas en forma sencilla e incluyen gran cantidad de librerías de objetos para representar dispositivos de uso en la industria como motores, tanques, indicadores, etc.

Este tipo de sistema es el que vamos a emplear en nuestro proyecto, ya que este tipo de HMI puede ser reprogramado por el usuario si hubiese algún cambio en la instalación utilizando el software que nos ofrece la marca de nuestra pantalla táctil que en este caso de Siemens.

Un pequeño esquema de la estructura general del software HMI sería la siguiente:

- Los óvalos representan archivos del sistema.
- Los recuadros naranjas representas programas de diseño o configuración del sistema.
- El resto son programas que mueven el motor de nuestra HMI.



## 3 Comunicaciones industriales

### 3.1 Introducción

La necesidad de simplificar instalaciones centralizadas y de reducir los costes de mantenimiento de las mismas, dio lugar a que se estudiase otra forma de transmitir todas las señales procedentes de las máquinas automatizadas.

Las señales entre planta y control eran inicialmente analógicas y de punto a punto, con el auge de la electrónica digital y de los microprocesadores se contempló la aplicación en esta parte de la automatización como es la comunicación entre dispositivos para permitir transportar esa información mediante una única línea de transmisión. Estas líneas de comunicación son los llamados Buses de Campo. La posibilidad de conectar varios autómatas entre si además permitió eliminar casi todo el cableado de control entre las máquinas, quedando una única línea de comunicación entre ellas. Otras ventajas fueron la posibilidad de programación a distancia, supervisión remota, y diagnóstico de todos los elementos conectados.

### 3.2 Buses de Campo

#### 3.2.1 Introducción

Por definición un bus de campo es un sistema de transmisión de datos. El nombre hace referencia a una familia de protocolos de red industriales para un control distribuido en tiempo real. El uso de estos simplifica de manera sustancial la instalación y conexionado entre diferentes dispositivos industriales utilizados en los procesos de producción.

La introducción de estos buses de campo a la industria trajo consigo una serie de ventajas respecto a la conexión usual punto a punto:

- Los cables que necesarios para la interconexión de equipos se reducía al cable de bus.
- Los dispositivos se pueden situar en cualquier ubicación mediante el cable de bus proporcionando mayor competitividad.
- La etapa de diseño y planificación se simplifica, mejorando la identificación de elementos puesto que ya no es necesario nombrar tantos borneros, hilos, etc.
- Se reduce el tiempo de mantenimiento o parada gracias a que las tareas de diagnóstico pueden mostrarse de manera más sencilla.
- Los protocolos de transmisión tienen rutinas de detección que corrigen errores aumentando la fiabilidad y eficiencia de las comunicaciones.
- La estandarización permite al instalador que pueda escoger dispositivos de múltiples fabricantes.

### 3.2.2 Requisitos de un bus de campo

Todo bus debe contemplar los siguientes puntos:

- Integración de datos: Deben convivir diferentes clases de datos en la red, donde se trataran datos de señales entrada/salida, datos de configuración, consignas y parametrizaciones de elementos en la red.
- Integración de dispositivos: Podremos conectar a nuestra bus cualquier marca de autómatas, ordenadores, y diferentes dispositivos de campo.
- Tiempo real: El ciclo de trabajo del autómatas es el que determina las características de tiempo real del sistema. El ciclo de trabajo del bus deberá estar por debajo del ciclo del autómatas para poder mantener la consigna de tiempo real. Este valor de ciclo del bus deberá estar por debajo de los 5 milisegundos.
- Determinismo: Deberemos saber cuándo van a suceder los eventos, donde es primordial conocer por ejemplo los tiempos de muestreo para realizar un control fiable.
- Eficiencia del protocolo: Que la relación entre datos transmitidos y datos útiles sea alta.
- Seguridad: Las altas frecuencias de transmisión son muy susceptibles a ser afectadas por interferencias electromagnéticas por lo que sistemas que trabajan a bajas velocidades proporcionan una mayor protección de los datos enviados.
- Expansión: Esta viene dada la velocidad de transmisión, topología aplicable (red, árbol, bus, estrella, anillo), el máximo número de nodos conectables, tipo de soporte (cable, fibra óptica, radio).
- Diagnóstico: Deberán de poder realizarse de manera fácil y sencilla, para facilitar la respuesta rápida del usuario y los tiempos de parada al mínimo.

## 3.3 Bus de campo requerido en nuestro sistema SCADA (Ethernet)

### 3.3.1 Introducción

Ethernet comenzó en los años 60 llamándose ARPANET y fue creado para el Departamento de defensa de los Estados Unidos. En esta red la información estaba distribuida en varias localizaciones así era más complicado destruirla.

En los años 90 fue cuando nació Ethernet IP acrónimo de Ethernet Industrial Protocol, donde su principal ventaja era su universalidad ya que cualquier ordenador iba provisto de un punto de conexión local Ethernet.

Su funcionamiento es diferente al resto de buses ya que utiliza la topología en estrella que facilita la detección de fallos de cableado, ya que la función de comprobación se integra en los HUB (Host Unit Broadcast), Unidades de Emisión principal.

Las redes Ethernet transmiten datos a velocidades que van desde los 10 MB hasta 1 GB usando cables UTP (Unshielded Twisted Pair), cable de par trenzado sin apantallamiento de categoría 5 y 6. Actualmente estas redes están introduciéndose en el entorno industrial desplazando a otros buses como Profibus o FIPWAY.

### 3.3.2 Evolución

Ethernet ha evolucionado con el paso del tiempo desde los años 60, para mejorar prestaciones y hacer su implementación más segura.

Para que entendamos el código de las versiones aclaramos su nomenclatura:

- El primer número indica la velocidad de transmisión en megabit por segundo.
- El texto central hace referencia al tipo de transmisión: Banda base o Banda Ancha.
- El número de la derecha hace referencia a la longitud de cable máxima en metros multiplicándose por 100, aunque en los últimos estándares se sustituye el número por letras las cuales hacen referencia al tipo de cableado.

Sus diferentes versiones han sido de más antigua a más moderna: 10BASE5, 10BASE2, 10BASE-T, 10BASEv, 100BASE-T, Gigabit Ethernet, esta última transmite 1 GB por segundo.

### 3.3.3 Elementos de la red

Los elementos más usuales son:

- Hub: Permite ampliar la red mediante ramificaciones, pudiendo conectar más dispositivos. Estos solo retransmiten los paquetes de datos a todas partes.
- Switch: Este filtra y regenera los paquetes Ethernet para permitir alcanzar mayores distancias de transmisión. Cada switch contiene una lista de direcciones de dispositivos conectados. Cuando se recibe un paquete, este verifica el destino y lo reenvía por el puerto correcto. También elimina colisiones y se puede utilizar para sistemas en tiempo real.
- Router: Divide la red en subredes mediante el filtrado de direcciones IP. Solo los paquetes con permiso pueden pasar de un segmento a otro. Una característica es que este puede bloquear paquetes defectuosos o broadcast, limitando el tráfico en las subredes. También sirve para aislar tráfico de datos por ejemplo de oficina y de planta o para propósitos de seguridad.
- Repetidor: Permite regenerar la señal para aumentar el alcance de la red. También permiten conectar redes de distinto tipo (cable, fibra, óptica).

### 3.3.4 Tipos de transmisión

Combinando Ethernet y TCP/IP (Transmission Control Protocol, Internet Protocol) permite el control y la monitorización desde cualquier parte del mundo mediante aplicaciones HMI. Es posible transmitir datos en tiempo real con Ethernet aunque los protocolos utilizados como TCP/IP o UDP (User Datagram Protocol)/IP hacen caer el rendimiento de la red en rangos de milisegundos.

El uso típico de estos protocolos en la industria es el siguiente:

- **TCP/IP:** Hace posible el intercambio de información entre controladores y centros de control, donde el intercambio de información no es crítico.
  - IP: Se ocupa del tráfico de datos entre nodos mediante la dirección IP formada por 4 bytes.
  - TCP: Garantiza la correcta entrega en destino y las acciones a tomar ante fallos de transmisión.
- **UDP/IP:** Se utiliza para la transmisión de datos críticos. No tiene control de errores por lo que se utiliza para la transmisión de datos cíclicos, si se pierde algo de información no importa porque se vuelve a transmitir en un periodo de tiempo corto. Este método consigue la eficiencia para dotar a Ethernet de un intercambio de datos en tiempo real.

Atendiendo a los tipos de transmisión en Ethernet-IP tenemos tres categorías:

- **Información:** Son paquetes de datos de gran tamaño, de carácter no crítico. Hacen útiles a los protocolos TCP/IP aprovechando sus ventajas.
- **Datos E/S:** Son paquetes de datos de pequeño tamaño, de carácter crítico. Hacen útiles a los protocolos UDP/IP debido a sus altas tasas de transferencia.
- **Sincronismo:** Son datos de sincronismo entre un productor y cualquier número de consumidores. Hacen útiles a los protocolos UDP/IP debido a sus altas tasas de transferencia.

Debemos de tener en cuenta que las condiciones difieren del entorno de oficina, por lo que hay que modificar algún elemento de las redes normales como los conectores RJ45 que necesitar adaptadores que les proporcionen resistencia mecánica, debemos tener cuidado también con las interferencias EMI utilizando cables de categoría 5 y 6,etc.

## 4 Estudio de seguridad en maquinas

Comenzando este estudio debemos definir la llamada “Directiva de Maquinas” que es una disposición normativa de la Unión Europea que vincula a los estados miembro a cumplir unos resultados u objetivos concretos en este ámbito .Esta directiva obliga a los estados miembro a realizar una trasposición de esta a sus respectivas legislaciones internas. Cabe destacar que esta directiva está compuesta por cuatro directivas. El objetivo fundamental de este estudio es conocer que existen normativas y procedimientos que deben de realizarse antes de comercializar una maquina o componente de seguridad.

Para cumplir esta directiva la administración española elaboro dos reales decretos:

- Real Decreto 1435/1992, de 27 de noviembre sobre seguridad en máquinas.
- Real Decreto 56/1995, de 20 de enero por lo que se modificaba y ampliaba el anterior.
- Real DECRETO 1644/2008, de 10 de octubre, por el que se establecen las normas para la comercialización y puesta en servicio de las máquinas.

El presente estudio de seguridad en máquinas está basado en el Real Decreto 1435/1992 ya que es la base de los siguientes. Debido a lo extenso que es este decreto se apuntara algunos detalles de cada capítulo.

### **Capítulo I: Ámbito de Aplicación y libre circulación**

#### **Artículo 1:**

Una máquina en el presente decreto se considera un conjunto de piezas unidas entre sí, de las cuales por lo menos una deberá de ser móvil. También se considera máquina a un conjunto de ellas que para llegar a un resultado final estén puestas y accionadas para funcionar solidariamente. Se considera máquina de nuevo a un equipo que modifique la función de una maquina acoplándose a ella por ejemplo.

A efectos de este decreto se entiende por componente de seguridad al componente el cual se comercializa para una función de seguridad y cuyo fallo pone en riesgo la seguridad y la salud de las personas expuestas.

En este decreto quedan excluidas diferentes maquinas como por ejemplo: Maquinas de usos médicos, maquinas donde la energía sea humana, medios de transporte etc. Para conocerlas todas deberemos ver el Real Decreto.

#### **Artículo 2:**

Solo se podrán comercializar las maquinas o componentes de seguridad contemplados en este Real Decreto sino comprometen riesgos a la salud y a la seguridad de personas etc. Donde se permitirá en casos como en ferias mostrar máquinas que no cumplan estas disposiciones siempre que se indique no lo hacen.

### Artículo 3:

No se podrá prohibir u obstaculizar por razones relativas a este Real Decreto por ejemplo máquinas que cumplan las disposiciones de este o la comercialización de componentes de seguridad si van acompañados de la declaración “CE” de conformidad del fabricante o de su representante legal.

### Artículo 4:

Las maquinas a las que se le aplica este Real Decreto deberán cumplir los requisitos esenciales de seguridad y de salud relativos al diseño y su fabricación. Este artículo se basa en el (anexo I) del Real Decreto. Estos requisitos están agrupados en función de los peligros que cubren. El fabricante está obligado a analizar los riesgos que puede presentar su máquina y a proceder seguidamente a su diseño y fabricación teniendo en cuenta el análisis efectuado. Como podemos imaginar debido a la gran cantidad de tipos de máquinas esta información es muy amplia y contempla gran cantidad de posibles riesgos.

Como requisitos destacables tendremos:

## 1 Generalidades

### • Principios de integración de seguridad

- Por su construcción las maquinas deberán ser aptas para realizar su función y para su regulación y mantenimiento sin que las personas se expongan a ningún peligro
- Se deberá seguir principios como: eliminar y reducir riesgos, adoptar medidas de protección para los que no se puedan eliminar, informar a los usuarios de los riesgos residuales inevitables.
- El fabricante deberá prever un uso no solamente normal de la máquina.
- En el uso normal de la maquina intentar reducir la fatiga y molestia al operador.
- La máquina deberá de suministrarse con todos los equipos esenciales para ser regulada mantenida y usada sin riesgos.

### • Materiales y productos

Los materiales que se hayan empleado para la fabricación de la maquina no originaran riesgos para la seguridad ni la salud de las personas expuestas.

### • Alumbrado

El fabricante aportara un alumbrado incorporado según las operaciones que realice la máquina para evitar zonas de sombras y deslumbramientos molestos para el operador.

### • Diseño de la maquina con miras a su manipulación

La máquina o cada uno d sus componentes:

- Podrá manipularse con seguridad.
- Diseñada para almacenarse con seguridad.
- Ser fácilmente desplazable.

## 2 Mando

### • Seguridad y fiabilidad de los sistemas de mando

Los sistemas de mando deberán diseñarse y fabricarse de manera segura y fiable de manera:

- Que resistan condiciones normales de servicio.
- Que no produzcan situaciones peligrosas en caso de error en la lógica de las maniobras.

- **Órganos de accionamiento**

Los órganos de accionamiento como indicaciones más importantes:

- Serán claramente visibles e identificables marcados adecuadamente.
- Estarán colocados de forma que se pueda maniobrar con seguridad.
- Estarán colocados fuera de las zonas de emergencia salvo si fuese necesario como por ejemplo una parada de emergencia.
- La máquina deberá de estar señalizada con indicadores o señales de funcionamiento y desde el puesto de mando el operador deberá poder advertir el estado de esta.

- **Puesta en marcha**

- La puesta en marcha de una maquina solo deberá poder efectuarse mediante una acción voluntaria ejercida sobre un órgano de accionamiento previsto a tal efecto.

Este requisito también será aplicable a:

- La orden de una modificación importante de las condiciones de funcionamiento (velocidad, presión, etc).
- La puesta en marcha tras una parada.

- **Dispositivos de parada**

Donde tendremos parada normal y parada de emergencia.

- Parada normal: Cada máquina estará provista de un órgano de accionamiento que permita la parada total en condiciones seguras. La orden de parada tendrá prioridad sobre todas las órdenes de puesta en marcha. Una vez se produzca la orden de parada de la maquina se interrumpirá la alimentación de energía de los accionadores que contenga.
- Parada de Emergencia: Cada máquina deberá estar provista de uno o varios dispositivos de parada de emergencia por medio de cuales se puedan evitar situaciones peligrosas que puedan producirse de forma inminente o que se estén produciendo. Quedan excluidas de esta obligación:
  - Las maquinas en las que este dispositivo de parada no pueda reducir el riesgo ya sea porque no reduce el tiempo para obtener la parada normal o bien porque no permite adoptar las medidas particulares que exige el riesgo.

Como dato importante si ha accionado el dispositivo de emergencia y posteriormente se desbloquea esta acción, este desbloqueo no deberá volver a poner en marcha la máquina, sino solo autorizar que pueda volver a arrancar.

- **Selector de modo de marcha**

El modo de mando seleccionado tendrá prioridad sobre todos los demás sistemas de mando, a excepción de la parada de emergencia. Si la maquina ha sido diseñada y fabricada para que puedan utilizarse varios modos llevara un selector de modo de marcha que pueda ser enclavado en cada posición. El selector podrá sustituirse por otros medios de selección con los que se pueda limitar la utilización de determinadas funciones de la máquina para distintos operadores.

Si en determinadas operaciones, la maquina funciona con los dispositivos de protección neutralizados, el selector de marcha deberá a la vez:

- Excluir el modo automático.
- Autorizar los movimientos con accionamientos mantenidos.
- Prohibir cualquier movimiento que pueda entrañar peligro.
- Autorizar el funcionamiento de los elementos móviles peligrosos solo en condiciones de menor riesgo por ejemplo velocidad lenta, esfuerzo reducido.

- **Fallo en la alimentación de energía**

La interrupción, el restablecimiento tras una interrupción o la variación, en el sentido que sea, de la alimentación de energía de la máquina no provocaran situaciones peligrosas.

No deberá producirse:

- Una puesta en marcha inadecuada.
- Un impedimento para detener la máquina si ya se ha dado la orden.
- La caída de cualquier elemento móvil de la máquina o de cualquier pieza sujeta por la misma.
- Un impedimento de la parada automática o manual de los elementos móviles.

- **Fallo del circuito de mando**

Este tipo de fallo no creara situaciones peligrosas a los defectos que afecten a la lógica del circuito de mando, ni los fallos o las averías del circuito de mando.

No deberá producirse:

- Una puesta en marcha inadecuada.
- Un impedimento para detener la máquina si ya se ha dado la orden.
- La caída de cualquier elemento móvil de la máquina o de cualquier pieza sujeta.
- Un impedimento de la parada automática o manual de los elementos móviles.
- La ineficacia de los dispositivos de protección

- **Programas**

Los programas de diálogo entre el operador y el sistema de mando o de control de una máquina se diseñaran de forma interactiva.

Estos han sido algunos requisitos esenciales de seguridad influyentes en este proyecto a la hora de fabricar las máquinas de los dos ejemplos prácticos llevados a cabo. Para ampliar información sobre todos los requisitos esenciales de seguridad en máquinas necesarios para la comercialización de estas se deberá consultar el (Anexo I) del Real Decreto 1435/1992 del 27 de noviembre.

#### **Artículo 5:**

Se considerara conforme a este decreto incluidos los procedimientos de evaluación de conformidad establecidos en el capítulo II a:

- Las máquinas que estén provistas del marcado “CE” y acompañadas de la declaración “CE” de conformidad.
- Los componentes de seguridad que vayan acompañados de la declaración “CE” de conformidad.

Si una norma nacional recoge una norma armonizada cuya referencia se ha publicado en el diario oficial de las comunidades europeas y satisface uno o varios requisitos de seguridad la máquina fabricada con estos se presumirá conforme a la directiva europea. El ministerio de industria publicara una resolución en materia de seguridad las referencias de las normas armonizadas. Estas normativas ayudan a diseñar de forma más concreta la máquina, aunque no son de obligado se supone que cumpliéndose estas, se están cumpliendo los artículos y anexos del Real Decreto correspondiente.

#### **Artículo 6:**

Cuando se considere que las normas armonizadas no cumplen completamente las directivas europeas el estado someterá el asunto al comité permanente creado por la directiva europea para exponer sus razones para resolver esta situación.

#### **Artículo 7:**

Cuando se compruebe que determinada maquina provista del marcado “CE” y acompañada de la declaración de conformidad puede poner en riesgo la seguridad de las personas etc, la comunidad autónoma pertinente estará en su derecho de adoptar las medidas necesarias para retirar tal máquina del mercado y prohibir su comercialización adoptando medidas contra quien haya puesto el marcado y la declaración de conformidad.

### **Capitulo II: Procedimientos de certificación de la conformidad**

#### **Artículo 8:**

Antes de comercializar las máquinas y componentes de seguridad el Fabricante o representante legal de estas deberá elaborar una declaración “CE” de conformidad cuyos datos dependiendo de cada tipo de máquina y componente de seguridad serán por ejemplo el nombre y dirección del fabricante, descripción de la máquina, disposiciones a las que se ajuste la máquina, referencias de normas armonizadas, especificaciones técnicas etc. Dependiendo del tipo de máquina y si se han respetado o no todas las normas bastara con esto o se someterá un modelo de la maquina a un examen llamado “Examen CE” por el cual el organismo de control comprueba y certificara que el modelo cumple las disposiciones correspondientes del presente Real Decreto. Además para las maquinas el fabricante deberá colocar sobre estas el marcado “CE” donde estará estipulado su forma en un anexo de este Real Decreto.

#### **Artículo 9:**

Los organismos españoles encargados de efectuar los procedimientos de certificación contemplados en el artículo 8 deberán ser organismos de control los cuales serán autorizados por el Organo competente de la comunidad autónoma done estos inicien su actividad o radiquen sus instalaciones. Estos organismos deberán verificar que la maquina reúne los criterios mínimos establecidos por este Real Decreto para conceder la declaración de conformidad.

### **Capitulo III: Mercado CE**

#### **Artículo 10:**

El marcado “CE” de conformidad estará compuesto de las iniciales CE donde deberá aparecer en la máquina de manera clara y visible. Quedará prohibido colocar marcados que puedan inducir a error en relación al logotipo del marcado “CE”. Cuando una comunidad autónoma compruebe que se ha colocado indebidamente el marcado “CE”, recaerá en el fabricante o en su representante legal la obligación de restablecer la conformidad del producto en lo que se refiere a las disposiciones sobre el marcado “CE” y poner fin a esa infracción.

## 5 Estudio de elementos hardware que componen este proyecto

### 5.1 Motores eléctricos

#### 5.1.1 Introducción

Una maquina eléctrica como es un motor convierte la energía eléctrica en mecánica, pudiendo trabajar en ambos sentidos de conversión.



Estas máquinas presentan una parte estacionaria llamada estator anclada para que no rote y una parte giratoria llamada rotor. Estas se separan por un hueco de aire denominado entrehierro, esta zona es donde realmente se tiene el proceso de reconversión electromecánica. Tanto el rotor como el estator están fabricados de materiales ferromagnéticos de alta permeabilidad lo que permite atraer y hacer pasar el mayor número de líneas magnéticas. Para reducir el valor de las pérdidas producidas por corrientes inducidas en estos, estos materiales ferromagnéticos se dividen en láminas aisladas unas de otras mediante un barniz aislante. Las láminas se posicionan juntas de manera perpendicular al eje de giro. Los conductores que giran en el rotor son introducidos normalmente en huecos realizados sobre las láminas.

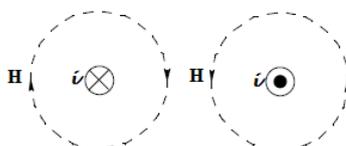
La familia de los motores está compuesta por dos grandes grupos, los motes de continua y de alterna. Los motores de continua fueron los primeros en utilizarse para el control de velocidad de giro ya que era más sencillo que en los de alterna, aunque su construcción y mantenimiento eran más complejos debido a la utilización de escobillas y colectores de delgas. En corriente alterna tenemos dos soluciones, el motor síncrono y asíncrono donde en siguientes apartados veremos sus diferencias.

#### 5.1.2 Fundamentos teóricos

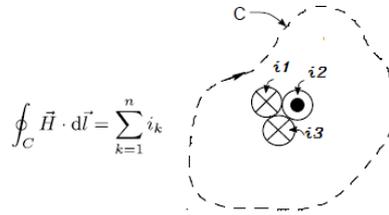
En este apartado definiremos teóricamente el valor de la fuerza electromagnética y la fuerza electromotriz inducida en el rotor de un motor. Para esto haremos un breve repaso al magnetismo y a fuerzas relacionadas con este campo.

#### Producción de un campo magnético

Cuando circula una corriente eléctrica por un conductor, esta produce un campo magnético. Dependiendo de la dirección de la corriente el campo magnético tendrá un sentido u otro. Aquí un ejemplo donde el punto representa una intensidad saliente y la cruz entrante.



La intensidad de un campo magnético (H) puede determinarse mediante la Ley de Ampere: Esta nos dice que en cualquier instante de tiempo la integral de contorno de la intensidad de campo magnético (H) a lo largo de cualquier camino cerrado (dl) es igual a la corriente total encerrada en ese camino. Su unidad es el (A/m).



La fuerza que produce el campo magnético se le conoce como fuerza magneto motriz:

$$F = N \cdot i \quad \text{donde: } N \text{ es el número de espiras}$$

Para caracterizar cada punto del espacio del campo magnético se define la inducción magnética (B) que es una magnitud vectorial que indica la cantidad de líneas de fuerza que atraviesa la unidad de superficie, su unidad de medida es el Tesla (T).

La forma de trabajar con la densidad de flujo depende de la permeabilidad magnética de los materiales, esta es una característica intrínseca de cada material y mide la capacidad que tiene para dejar pasar por su interior las líneas de fuerza de un campo magnético.

La permeabilidad magnética se expresa como múltiplo de la permeabilidad del vacío, de esta forma nos quedan estas expresiones:

Intensidad de campo magnético del vacío o aire:

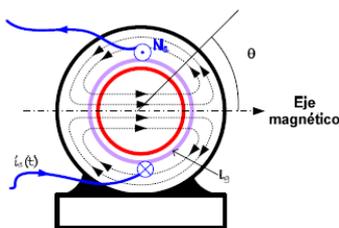
$$B = \mu_0 * H \quad \text{donde } \mu_0 = 4\pi * 10^{-7} \frac{\text{Henr}}{\text{m}}$$

Intensidad de campo magnético de un material férrico:

$$B_m = \mu_m * H_m$$

$$\mu_m = \mu_r * \mu_0$$

Conociendo estas leyes básicas del magnetismo vamos a calcular la producción de un campo magnético ( $H_s$ ) generado por una intensidad que recorre una bobina de  $N_s$  espiras en el estator de tal forma que sus huecos se encuentran a  $180^\circ$ . El rotor no presente ningún bobinado. Se ignoran las líneas de flujo de dispersión considerando solo las líneas de magnetización que atraviesan los dos entrehierros. La longitud del entrehierro se considera como  $l_g$ .



Aplicando la ley de Ampere a lo largo de cualquier camino cerrado que sigue el flujo se obtiene el siguiente campo magnético ( $H_s$ ) y por consiguiente la densidad de flujo magnético en el entrehierro ( $B_s$ ):

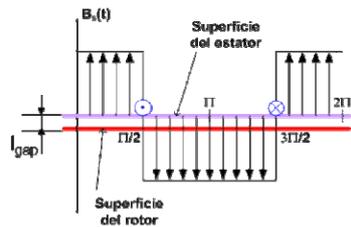
$$\oint \vec{H} \cdot d\vec{l} = H_s l_g + (-H_s l_g \cos(180^\circ)) = N_s i$$

$$H_s = \frac{N_s i}{2l_g} \quad \text{y} \quad B_s = \mu_0 \frac{N_s i}{2l_g}$$

También obtendremos la fuerza magneto motriz de cualquier camino de flujo como:

$$F = \int_{\text{rotor}}^{\text{estator}} \vec{H} \cdot d\vec{l} = \int_{\text{rotor}}^{\text{estator}} H_s dl = \frac{N_s i}{2l_g} l_g = \frac{N_s i}{2}$$

La densidad de flujo magnético tiene esta forma, donde todas las magnitudes anteriores se consideran positivas cuando su dirección es de salida desde el centro de la máquina. Cuando se considera la sección circular rotor-estator en línea recta la distribución del campo magnético es una onda cuadrada. En cualquier instante de tiempo las tres magnitudes ( $H_s$ ,  $F$ ,  $B_s$ ) son proporcionales al valor instantáneo de la corriente del estator  $i(t)$  y están relacionadas todas ellas por medio de constantes. Aquí mostramos los valores del flujo magnético según el ángulo donde se encuentre la espira.



Existen dos principios que nos permiten controlar la operación de las máquinas eléctricas, para la conversión entre la energía eléctrica y el trabajo mecánico:

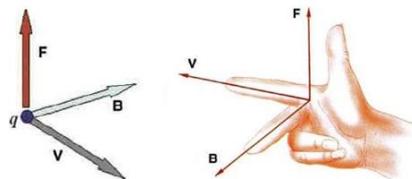
- Producción de trabajo mecánico: Una fuerza es producida en un conductor que conduce una corriente eléctrica, cuando este se somete a un campo magnético externo.
- Producción de energía eléctrica: Una fuerza electromotriz es inducida en un conductor, cuando este se mueve en el interior de un campo magnético.

### Fuerza electromagnética

Contando con un conductor de longitud  $l$  (m) por el que circula una corriente  $i$  (A) sometido a un campo magnético externo de densidad de flujo  $B$  (T) uniforme y siendo las líneas de fuerza perpendiculares a la longitud del conductor. Se produce una fuerza electromagnética  $F_{em}$  sobre el conductor debida a la interacción entre el campo magnético exterior y la corriente de este. Este valor tendrá unidades en Newton (N).

$$F_{em} = B \cdot l \cdot i$$

La dirección de la fuerza que actúa sobre una carga es perpendicular a la dirección de ambos flujos, esto se puede visualizar fácilmente con la regla de la mano derecha:



### Fuerza electromotriz inducida

Contando con un conductor de longitud  $l$  (m), que está en movimiento a una velocidad  $v$  (m/s), sometido a un campo magnético externo de densidad de flujo  $B$  (T) uniforme, y siendo la dirección de las líneas de fuerza perpendiculares a la longitud del conductor, se induce en el conductor una fuerza electromotriz. El valor de esta fuerza inducida  $e$  ( $v$ ) en un instante de tiempo será:

$$e = B \cdot l \cdot u$$

Donde la polaridad de esta fuerza vendrá determinada por la fuerza sobre una carga  $q$  dentro del conductor:

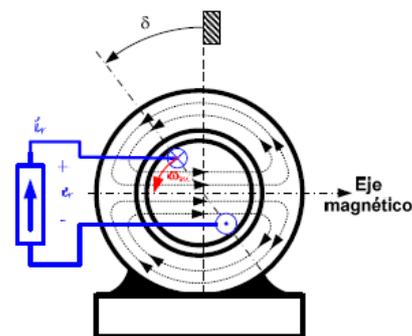
$$f_q = q(u \times B)$$

Los valores de velocidad  $u$  (m/s), y densidad de flujo  $B$  (T) son vectores. Debido a que estos son ortogonales, la fuerza sobre una carga positiva tiene dirección ascendente, mientras en un electrón esta será descendente. Esto producirá una diferencia de potencial entre los extremos del conductor.

#### 5.1.3 Aplicación de los fundamentos teóricos

En la siguiente estructura se tiene:

- El estator produce un flujo magnético  $B_S$  uniforme. Las líneas de flujo tienen dirección radial a través de todo el entrehierro.
- Una bobina de  $N_R$  espiras se localiza en el rotor de radio  $r$
- La inductancia de la bobina se considera despreciable
- La fuerza y el par en el rotor tienen dirección positiva en sentido anti horario.

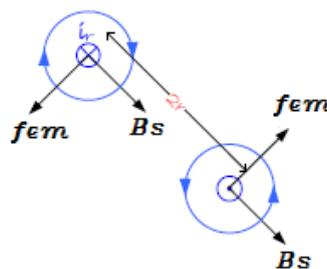


- Se hace circular una corriente " $i_R$ " por el rotor, esta corriente es constante pero su dirección cambia cada  $180^\circ$  controlada en función del giro de la bobina ( $\delta$ ). Estando sometida esta corriente a un flujo magnético creado por el estator " $B_S$ " se produce una fuerza electromagnética " $f_{em}$ " en ambos lados de la bobina del rotor. Estas condiciones con las fuerzas en ambos lados de bobina nos producen un par electromagnético en el rotor en dirección contraria a las agujas del reloj como muestra la figura.

Donde la ( $F_{em}$ ) y el ( $T_{em}$ ) son:

$$f_{em} = B_S (N_R I) l$$

$$T_{em} = 2 \cdot f_{em} \cdot r = 2 \cdot [B_S (N_R I) l] \cdot r$$

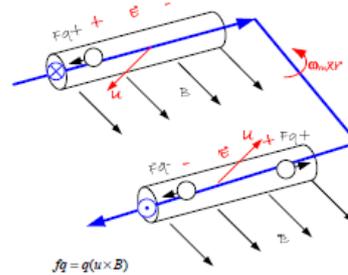


- Debido al movimiento de los conductores del rotor en presencia del campo magnético creado por el estator se produce una fuerza electromotriz inducida “f.e.m inducida” en los mismos. El valor que adopta esta fuerza electromotriz en cualquier instante de tiempo en cada conductor es la siguiente:

$$E_{cond} = B_S \cdot l \cdot u = B_S \cdot l \cdot (\omega r)$$

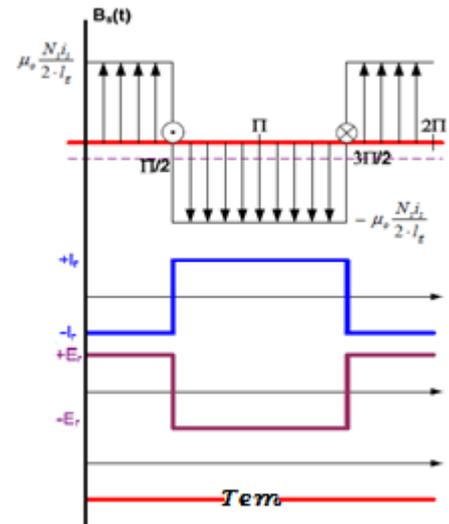
Por lo tanto la f.e.m inducida en la bobina del rotor que tiene  $2 \cdot N_R$  conductores vendrá determinada por la siguiente expresión, donde su polaridad se muestra con detalle en la figura.

$$E = 2 \cdot N_R \cdot B_S \cdot l \cdot (\omega r)$$



En la siguiente figura se pueden apreciar las formas de onda de cada variable para el flujo magnético “ $B_s$ ” proporcionado por el estator:

- El par producido en el rotor tiene su homólogo en el estator pero en sentido contrario, por este motivo es necesario fijar de manera robusta este evitar su rotación.



- En una maquina ideal donde no existen pérdidas la potencia eléctrica total de entrada “ $P_{el}$ ” es convertida íntegramente en potencia mecánica de salida “ $P_{mec}$ ”. De manera que en cualquier instante de tiempo tenemos que:

$$P_{elec} = e_r \cdot i_r = (2 \cdot N_R \cdot B_S \cdot l \cdot \omega r) \cdot I$$

$$P_{mec} = T_{em} \cdot \omega_R = (2 \cdot N_R \cdot B_S \cdot I \cdot l \cdot r) \cdot \omega_R$$

En un motor real para obtener la  $P_{el}$  deberíamos restar las pérdidas del sistema eléctrico y para obtener la  $P_{mec}$  que tenemos en el eje se deberían considerar las pérdidas del sistema mecánico: inercias, rozamiento viscoso, etc.

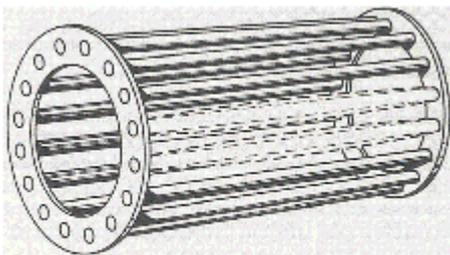
### 5.1.3 Motores asíncronos

Nos centramos en este tipo de motores ya que son los que utilizaremos en nuestro proyecto. Los motores asíncronos de inducción son un tipo de motores de corriente alterna que producen el giro de su rotor debido a una corriente eléctrica inducida en él, gracias a un campo electromagnético variable producido en el estator. Esta máquina puede trabajar como motor y generador, pero tiene mejores prestaciones utilizado como motor. Utilizado como motor su característica principal es que su velocidad de giro, dependiendo del par resistente que le ofrezca la carga, varía entre límites muy estrechos y siempre por debajo de la denominada velocidad de sincronismo, que para nosotros esta solo depende de la frecuencia de alimentación del estator, esta característica es la principal diferencia con respecto a los motores asíncronos que si giran con la misma frecuencia que la frecuencia de red.

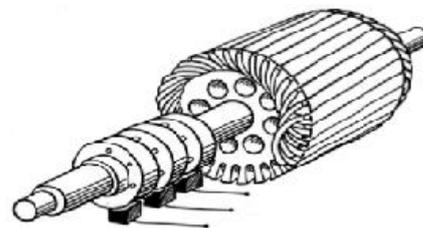
Estos motores están formados por diferentes elementos, donde tenemos unas partes activas (estator, rotor) y otras estructurales o de protección (rodamientos, cojinetes, carcasa exterior). El estator suele ser del mismo tipo que en los motores síncronos formado por un núcleo de chapas magnéticas apiladas y asiladas entre sí que alojan un devanado trifásico en las ranuras que contienen. Estos tres devanados son idénticos con la excepción de que están desplazados  $120^\circ$  eléctricos.

El rotor se forma también a base de chapas magnéticas pero tienen la forma de un cilindro. Puede estar diseñado de dos formas diferentes para los devanados del rotor: de jaula de ardilla y de anillos. En el primer caso las ranuras se rellenan de barras de aluminio fundido que se unen en ambos extremos mediante unos anillos de cortocircuito también conductores.

En el rotor bobinado o de anillos está formado por un devanado trifásico similar al del estator. Las tres fases se suelen conectar en estrella y los otros tres extremos libres se conectan a tres anillos conductores aislados entre si y al eje, sobre los que hacen contacto unas escobillas de grafito. En condiciones normales las tres fases del rotor están cortocircuitadas por medio de unos contactos rozando las escobillas. Esto se hace para tener acceso a esas bobinas y poder insertar resistencias externas entre extremos de fase para modificar a voluntad las características eléctricas del circuito. Este segundo tipo es más caro que el de jaula de ardilla ya que incluye más elementos y tiene mayor desgaste.



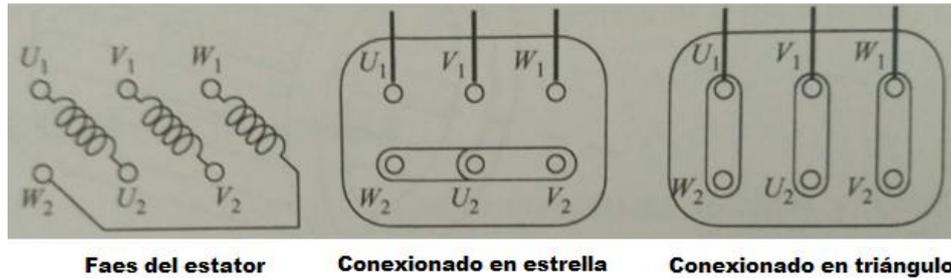
**Rotor de jaula de ardilla**



**Rotor de anillos**

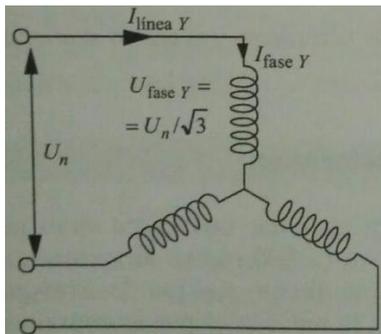
La placa de bornes de un motor de inducción por lo general lleva seis terminales accesibles unidos directamente a cada fase del estator. En el caso de los motores con rotor bobinado tenemos tres terminales más correspondientes a los extremos de las fases libres. En una disposición normal

los extremos de una misma fase no están alineados con objeto de que sea fácil realizar las conexiones estrella – triángulo.



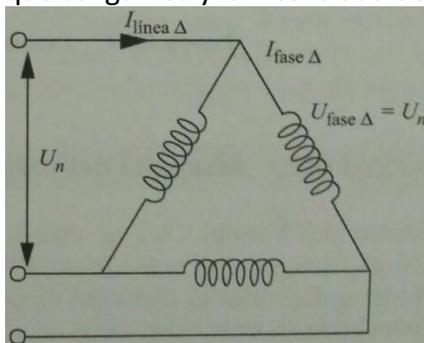
Este arranque estrella- triángulo fue el primero que se utilizaba con los objetivos de disminuir la corriente de arranque para evitar caídas de tensión en la línea y realizar arranques más suaves para evitar golpes mecánicos en el motor.

Si conectamos en primer lugar el motor en estrella se aplica a cada fase una tensión  $\sqrt{3}$  menor a la que pueden soportar en condiciones nominales. La intensidad en cada fase será también  $\sqrt{3}$  veces menor ya que la intensidad de fase es igual a la de línea en estrella:



$$I_{fase,Y} = \frac{U_n}{\sqrt{3} * Z_{rb}} = I_{línea,Y} \quad U_{fase,Y} = \frac{U_n}{\sqrt{3}}$$

En el conexionado en triángulo tenemos que la tensión aplicada a cada fase es la tensión de red que tengamos y la intensidad de fase es  $\sqrt{3}$  menor que la de línea:



$$I_{fase,\Delta} = \frac{U_n}{Z_{rb}} = \frac{I_{línea,\Delta}}{\sqrt{3}} \quad U_{fase,\Delta} = U_n$$

Comparando ambas ecuaciones de intensidades tenemos que la intensidad de línea en Y es 3 veces menor que la de  $\Delta$ :

$$I_{fase,Y} = \sqrt{3} * I_{línea,Y} \Leftrightarrow \sqrt{3} * I_{línea,Y} = \frac{I_{línea,\Delta}}{\sqrt{3}} \Leftrightarrow I_{línea,Y} = \frac{I_{línea,\Delta}}{\sqrt{3} * \sqrt{3}} = \frac{I_{línea,\Delta}}{3}$$

En nuestro proyecto utilizaremos el método más novedoso para controlar el arranque de nuestros motores como es el variador de frecuencia.

## Principios de funcionamiento

El teorema de Ferraris nos dice algo así como que al conectar los devanados del estator desfasados  $120^\circ$  eléctricos de una maquina asíncrona trifásica a una red de alimentación equilibrada circula por ellos un sistema de corrientes trifásicas que crean una onda espacial de f.m.m o campo magnético giratorio prácticamente senoidal que rodea al rotor y cuya velocidad angular denominada velocidad de sincronismo viene dada por la expresión:

$$\omega_{syn} = \frac{\omega}{p} \text{ (rad/s)}$$

Dónde:  $\omega$ : Velocidad angular de la red trifásica  $\omega = 2\pi \cdot f_{syn}$

$p$ : Numero de pares de polos

Si vemos esta expresión expresada en revoluciones por minuto tendremos:

$$n_{syn} = \frac{60 \cdot f_{syn}}{p} \text{ (r.p.m)}$$

Ese campo magnético variable induce una tensión en los devanados del rotor según la ley de Faraday:

$$\mathcal{E} = -N \frac{d\Phi}{dt}$$

A su vez esa tensión inducida hará circular una corriente por el rotor, ya sea en jaula de ardilla o anillos como vimos anteriormente que al estar inmersa en un campo magnético producirá un par de giro. Este par tratara de oponerse a la causa que lo produce, que no es más que el desplazamiento relativo de las líneas de campo respecto de los conductores del rotor por lo que si el rotor está libre intentara seguir al campo magnético en su giro.

Si la velocidad del giro del rotor llegase a alcanzar al campo magnético se dejarían de inducir f.e.m en los conductores del rotor y dejaría de circular corrientes por ellos, el par producido se haría nulo y se reduciría la velocidad del motor. Por este hecho el rotor está condenado a girar a una velocidad inferior a la de sincronismo. En motores con diseños normales su velocidad de giro está muy próxima a la de sincronismo, entorno al 90 - 99 %.

Una forma de expresar la diferencia entre la velocidad de sincronismo ( $\omega_{syn}$  o  $n_{syn}$ ) y la de giro del rotor ( $\omega$  o  $n$ ) es por medio del deslizamiento definido por:

$$s = \frac{n_{syn} - n}{n_{syn}} = \frac{\omega_{syn} - \omega_{mot}}{\omega_{syn}}$$

Esta es una magnitud que se expresa en tanto por ciento o tanto por uno. Para entérela con mayor facilidad pondremos un ejemplo: Un deslizamiento del 5% indicaría que la velocidad del motor es el 95 % de la de sincronismo.

## Regulación de la velocidad

La máquina asíncrona trifásica tiene su principal función como motor industrial, pero durante casi un siglo su uso a estado limitado a aplicaciones de velocidad constante o casi constante. Las aplicaciones a velocidad variable se reservaban a motores de corriente continua. Gracias a la evolución de la electrónica y al hecho de que apareciesen los variadores de velocidad a frecuencia variable ha provocado que estos motores sean el futuro del control de velocidad en la industria. Aplicando formulas expuestas en el apartado anterior definimos la velocidad de un motor asíncrono como:

$$w_{motor} = w_{syn} \cdot (1 - s) = \frac{2\pi \cdot f}{p} \cdot (1 - s) \text{ (rad/s)}$$

Por tanto si se quiere variar la velocidad del motor es preciso modificar alguna de las tres variables que aparecen en dicha fórmula, el número de polos, el deslizamiento o la frecuencia de alimentación. De estas solo es posible variar la velocidad de forma continua en las dos últimas ya que el número de polos es un numero entero por lo que el control seria en saltos muy bruscos de velocidad. Esta explicación se centrara en el control por la variación de frecuencia ya que este es el control que vamos a realizar.

En este control al valor de velocidad de sincronismo bajo condiciones de frecuencia nominal en el estator ( $f_s = 50\text{Hz}$ ) lo definiremos como velocidad base  $w_b$ . Un sistema de regulación de velocidad por variación de frecuencia puede funcionar con velocidades tanto por encima como por debajo de esta velocidad base. Como las características de funcionamiento son muy distintas en las dos circunstancias se realizaran por separado.

- Análisis por debajo de  $w_b$ :

El par producido por el motor “ $T_m$ ” asíncrono es proporcional al producto de la intensidad que circula por el bobinado del rotor ( $I_r$ ) vista desde el estator, por el flujo por polo que atraviesa el entrehierro “ $\Phi_m$ ”, donde “ $K_m$ ” es una constante de cada motor:

$$T_m \approx k_m \cdot I_r' \Phi_m$$

La ecuación anterior nos indica que para los sistemas de velocidad variable interesa mantener el flujo al máximo valor que permitan las características de diseño de la maquina bajo cualquier régimen de funcionamiento. Esto es así por dos motivos:

- Para un régimen de funcionamiento estable definido por la igualdad entre el par motor y el par resistente, la ecuación anterior muestra que cuanto mayor sea el flujo menor será el consumo de intensidad rotórica y, por tanto menores las perdidas en los conductores y mayor el rendimiento global.
- De la misma expresión se entiende que manteniendo el flujo en su valor nominal se puede conseguir que la máquina suministre el par de plena carga, sin sobrepasar la intensidad para la que están diseñados los conductores del rotor.

La f.e.m inducida en la bobina de cada fase del estator está relacionada con la variación del tiempo del flujo, como vimos en apartados anteriores. Suponiendo una distribución senoidal pura de la onda espacial de f.m.m a lo largo del entrehierro y que la evolución temporal del flujo que rodea a cada espira del bobinado es también senoidal se obtiene el valor de la f.e.m en la bobina "E<sub>s</sub>" y el valor del flujo por polo "Φ<sub>m</sub>":

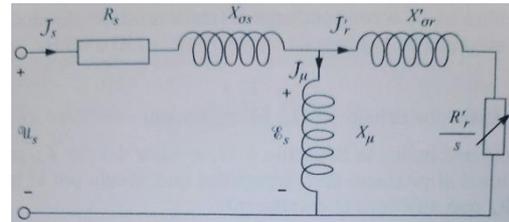
$$E_s = 4.44 \cdot k_{ws} \cdot N_s \cdot \Phi_m \cdot f_{syn}$$

En esta expresión el factor de bobinado "k<sub>ws</sub>" y el número de espiras "N<sub>s</sub>" son constantes constructivas de la máquina y por tanto el producto de estas constantes por 4.44 nos da otra constante k<sub>m</sub>. Con esta consideración el flujo nos queda:

- Se deduce de deduce que para mantener el flujo constante debe variarse la f.e.m del estator en la misma proporción que la frecuencia.  $\Phi_m = \frac{E_s}{k_m \cdot f_{syn}}$

Se va a analizar el funcionamiento de la maquina en estas circunstancias tomando el circuito equivalente siguiente, donde no se han tenido en cuenta ni las perdidas en el hierro ni la saturación de la máquina. La expresión del par en función del deslizamiento, según el circuito equivalente y para una maquina trifásica m<sub>s</sub>=3, de p polos es:

$$T_m = \frac{P_m}{w_{syn}} = \frac{3 \cdot p}{2\pi \cdot f_{syn}} \cdot \frac{R'_r \cdot I_r'^2}{s}$$



Donde la potencia que atraviesa el entrehierro de la máquina es:

$$P_m = m_s \cdot \frac{R'_r \cdot I_r'^2}{s} \quad \text{y} \quad w_{syn} = 2\pi \cdot f_{syn}$$

Mediante la aplicación de las leyes de Kirchhoff al circuito equivalente se obtienen las siguientes ecuaciones fasoriales:

$$U_s = J_s \cdot (R_s + jX_{\sigma s}) + \mathcal{E}_s$$

$$\mathcal{E}_s = j(J_{\mu} \cdot X_{\mu}) = J_r \left( \frac{R'_r}{s} + jX'_{\sigma r} \right)$$

$$J_s = J_{\mu} + J'_r$$

Con el objeto de simplificar el sistema consideraremos despreciable el primer sumando de la primera ecuación por lo que U<sub>s</sub> = E<sub>s</sub>, esto puede considerarse así por el pequeño valor de la caída de tensión en el estator respecto a U<sub>s</sub> pues R<sub>s</sub> y X<sub>σs</sub> tienen un valor muy

reducido, siendo este último progresivamente menor a medida que disminuye la frecuencia. De esta forma queda la intensidad eficaz en el rotor vista desde el estator:

$$I'_r \approx \frac{U_s}{\sqrt{\left(\frac{R'_r}{s}\right)^2 + (X'_{\sigma r})^2}}$$

Introduciendo esta expresión en la ecuación del par y sustituyendo:

$$X'_{\sigma s} = 2\pi \cdot f_{syn} \cdot L'_{\sigma r}, s = \frac{f_s}{f_{syn}}, \text{ se obtiene finalmente:}$$

$$T_m = \frac{3p}{2\pi} \cdot \left(\frac{U_s}{f_{syn}}\right)^2 \cdot \frac{R'_r \cdot f_s}{(R'_r)^2 + (2\pi \cdot L'_{\sigma r})^2 \cdot f_s^2}$$

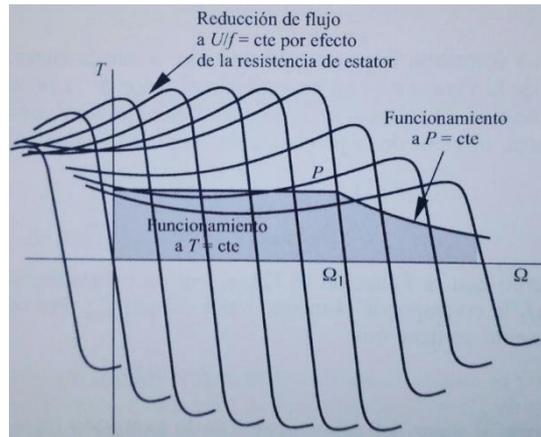
Como anteriormente dijimos en la regulación a flujo constante el cociente  $\frac{E_s}{f_{syn}}$  se debe mantener constante. Dado de que este caso se ha supuesto  $U_s=E_s$  la regulación debe mantenerse constante el cociente  $\frac{U_s}{f_{syn}}$ . Si esto último se cumple se deduce una conclusión de que en este tramo el par es independiente de la frecuencia de alimentación y pasa a ser función exclusiva de la frecuencia del rotor  $f_s$ .

En resumen para cualquier frecuencia de estator, a cada valor de frecuencia rotórica le corresponde el mismo valor del par motor.

- Análisis por encima de  $w_b$ :

Para alimentar a frecuencias superiores, el mantenimiento del flujo constante implicaría alimentar la tensión de alimentación del motor por encima del valor asignado en la placa de características, lo que podría ocasionar problemas de aislamiento. En cambio si se sigue aumentando la frecuencia pero se mantiene constante la tensión, el flujo se va reduciendo de forma inversamente proporcional. Por eso a esta zona de funcionamiento se le llama de campo debilitado.

A medida que la frecuencia de alimentación aumenta también lo hace la velocidad de sincronismo y en caso de mantenerse el par resistente en un valor constante, también lo hace la potencia de salida. Pero la potencia máxima que puede ceder el motor está limitada por consideraciones térmicas. Por esa razón por encima de la velocidad base el par que puede suministrar el motor debe reducirse según una ley del tipo  $1/f$  como muestra la figura siguiente. Estamos por tanto en una zona de funcionamiento con potencia constante. Se puede observar que a medida que la frecuencia del estator aumenta, el par máximo se reduce más rápidamente que el par admisible del motor, lo que evita la sobrecarga.



Como para motores de diseño convencional se tiene que  $(T_{\max} / T_n) = 2,2$ , la máxima frecuencia a la que puede funcionar con campo magnético debilitado es del doble de la frecuencia base aproximada.

## 5.2 Autómata programable

### 5.2.1 Introducción

Como ya hemos mencionado un autómata o “PLC” es “una maquina electrónica programable capaz de ejecutar un programa, que se diseña para controlar uno o varios procesos industriales y de controlar gran variedad de dispositivos para las distintas tareas de automatización.

Sus aportaciones a la industria han sido varias, en diferentes ámbitos:

- Los PLCs son elementos de fácil manejo a través de software de programación. La programación se realiza en entornos de laboratorio por lo que el ambiente para el programador es más amigable.
- En el mantenimiento no se requiere personal altamente cualificado, se les puede formar para llevar a cabo las labores de mantenimiento. Además la interfaz hombre- máquina de estos dispositivos facilita el trabajo de mantenimiento.

### 5.2.2 Descripción

El autómata que vamos a implementar en nuestro proyecto es un Siemens S7-1200. La CPU es una 1214C AC/DC/relé que incorpora un microprocesador, una fuente de alimentación integrada, así como circuitos de entradas y salidas para los diferentes elementos de control y actuación en la automatización. Sus principales características son las siguientes:

| Función  | CPU 1214C   |
|--|---|
| Dimensiones físicas (mm)   | 110 x 100 x 75                                      |
| Memoria de usuario   |   |
| • Memoria de trabajo   | • 50 KB   |
| • Memoria de carga   | • 2 MB  |
| • Memoria remanente  | • 2 KB  |
| E/S integradas locales   |   |
| • Digitales  | • 14 entradas/10 salidas                            |
| • Analógicas   | • 2 entradas  |
| Tamaño de la memoria imagen de proceso                             | 1024 bytes para entradas<br>1024 bytes para salidas |
| Área de marcas (M)   | 8192 bytes  |
| Ampliación con módulos de señales                                  | 8   |
| Signal Board   | 1   |
| Módulos de comunicación  | 3 (ampliación en el lado izquierdo)                 |
| Contadores rápidos   | 6   |
| • Fase simple  | • 3 a 100 kHz<br>3 a 30 kHz                         |
| • Fase en cuadratura   | • 3 a 80 kHz<br>3 a 20 kHz                          |
| Salidas de impulsos  | 2   |
| Memory Card  | SIMATIC Memory Card (opcional)                      |
| Tiempo de respaldo del reloj de tiempo real                        | Típico: 10 días / Mínimo: 6 días a 40 °C            |
| PROFINET   | 1 puerto de comunicación Ethernet                   |
| Velocidad de ejecución de funciones matemáticas con números reales | 18 µs/instrucción                                   |
| Velocidad de ejecución booleana                                    | 0,1 µs/instrucción                                  |

A continuación nombraremos las principales características de los elementos que componen esta CPU:

- La fuente de alimentación es un transformador 220V-AC/ 24V-DC que suministra energía eléctrica a la CPU, a los módulos de señales y a los módulos de comunicación. También provee alimentación de sensores de 24 V DC que suministra a las entradas y bobinas de relé de los módulos de señales, así como a otros equipos consumidores. Los datos más importantes sobre aspectos relacionados a la fuente de alimentación de nuestra CPU 1214C AC/DC/relé se muestra en la siguiente tabla:

| Datos técnicos   |  |
|--|--|
| Modelo   | CPU 1214C<br>AC/DC/relé                |
| Referencia   | 6ES7 214-1BE30-0XB0                    |
| <b>General</b>   |  |
| Dimensiones A x A x P (mm)                                 | 110 x 100 x 75                         |
| Peso   | 475 gramos                             |
| Disipación de potencia                                     | 14 W                                   |
| Intensidad disponible (SM y bus CM)                        | 1600 mA máx. (5 V DC)                  |
| Intensidad disponible (24 V DC)                            | 400 mA máx.                            |
| Consumo de corriente de las entradas digitales (24 V DC)   | 4 mA/entrada utilizada                 |
| <b>Fuente de alimentación</b>                              |  |
| Rango de tensión   | 85 a 264 V AC                          |
| Frecuencia de línea  | 47 a 63 Hz                             |
| Intensidad de entrada<br>CPU sólo a carga máx.             | 100 mA a 120 V AC<br>50 mA a 240 V AC  |
| CPU con todos los accesorios de<br>ampliación a carga máx. | 300 mA a 120 V AC<br>150 mA a 240 V AC |
| Corriente de irrupción (máx.)                              | 20 A a 264 V AC                        |
| Aislamiento (potencia de entrada a<br>lógica)              | 1500 V AC                              |
| Corriente de fuga a tierra, línea AC a<br>tierra funcional | 0,5 mA máx.                            |

- Para el correcto funcionamiento de los sensores es muy importante dimensionar correctamente la potencia de la fuente de alimentación ya que nos indicara la intensidad que es capaz de suministrar. La siguiente tabla nos indica como parámetro más importante la intensidad de salida nominal máxima que nos ofrece la fuente de alimentación:

| Datos técnicos   |   |
|--|---|
| Modelo   | CPU 1214C<br>AC/DC/relé                 |
| <b>Alimentación de sensores</b>                              |   |
| Rango de tensión   | 20,4 a 28,8 V DC                        |
| Intensidad de salida nominal (máx.)                          | 400 mA (protegido contra cortocircuito) |
| Ruido de rizado máx. (<10 MHz)                               | < 1 V de pico a pico                    |
| Aislamiento (lógica de la CPU a<br>alimentación de sensores) | Sin aislamiento                         |

Tenemos diferentes circuitos de entradas/salidas:

- Entradas/salidas digitales: Estos circuitos están diseñados para recibir y entregar señales todo/ nada. En el caso de las entradas estas señales son captadas mediante sensores que permitirán conocer un estado presente o no presente del sistema. En el caso de las salidas alimentaran circuitos de fuerza o directamente actuadores según la tensión que se necesite para ordenar su actuación o no según el nivel de tensión de la salida. Las principales características de estas entradas/salidas de nuestra CPU 1214C AC/DC/relé son las siguientes:

| Datos técnicos   |  |
|--|--|
| Modelo   | CPU 1214C<br>AC/DC/relé  |
| <b>Salidas digitales</b>   |  |
| Número de salidas  | 10   |
| Tipo   | Relé, contacto seco  |
| Rango de tensión   | 5 a 30 V DC ó 5 a 250 V AC   |
| Señal 1 lógica a intensidad máx.   | --   |
| Señal 0 lógica con carga de 10 K $\Omega$                                  | --   |
| Intensidad (máx.)  | 2,0 A  |
| Carga de lámparas  | 30 W DC/200 W AC   |
| Resistencia en estado ON   | Máx. 0,2 $\Omega$ (si son nuevas)  |
| Corriente de fuga por salida   | --   |
| Sobrecorriente momentánea  | 7 A si están cerrados los contactos  |
| Protección contra sobrecargas  | No   |
| Aislamiento (campo a lógica)   | 1500 V AC durante 1 minuto (bobina a contacto)<br>Ninguno (bobina a lógica)  |
| Resistencia de aislamiento   | 100 M $\Omega$ mín. si son nuevas  |
| Aislamiento entre contactos abiertos                                       | 750 V AC durante 1 minuto  |
| <b>Entradas digitales</b>  |  |
| Número de entradas   | 14   |
| Tipo   | Sumidero/fuente (tipo 1 IEC sumidero)  |
| Tensión nominal  | 24 V DC a 4 mA, nominal  |
| Tensión continua admisible   | 30 V DC, máx.  |
| Sobretensión transitoria   | 35 V DC durante 0,5 seg.   |
| Señal 1 lógica (mín.)  | 15 V DC a 2,5 mA   |
| Señal 0 lógica (máx.)  | 5 V DC a 1 mA  |
| Aislamiento (campo a lógica)   | 500 V AC durante 1 minuto  |
| Grupos de aislamiento  | 1  |
| Tiempos de filtro  | 0,2, 0,4, 0,8, 1,6, 3,2, 6,4 y 12,8 ms (seleccionable en grupos de 4)  |
| Frecuencias de entrada de reloj HSC (máx.) (señal 1 lógica = 15 a 26 V DC) | Fase simple: 100 KHz (Ia.0 a Ia.5) y 30 KHz (Ia.6 a Ib.5)<br>Fase en cuadratura: 80 KHz (Ia.0 a Ia.5) y 20 KHz (Ia.6 a Ib.5) |
| Número de entradas ON simultáneamente                                      | 14   |
| Longitud de cable (metros)   | 500 apantallado, 300 no apantallado, 50 apantallado para entradas HSC  |

- Entradas analógicas: Las señales de entrada digital limitan en cierta medida la cantidad de información que se recibe del proceso ya que solo es posible de conocer dos estados. Si se necesita conocer de una magnitud física todos sus posibles estados será necesario utilizar este tipo de entradas donde tendremos una escala para cubrir todos los posibles valores de la magnitud en un rango de tensión. Las principales características de estas entradas de nuestra CPU 1214C AC/DC/relé son las siguientes:

| Datos técnicos                           |   |
|--|---|
| Modelo                                   | CPU 1214C<br>AC/DC/relé   |
| <b>Entradas analógicas</b>               |   |
| Número de entradas                       | 2   |
| Tipo                                     | Tensión (asimétrica)  |
| Rango                                    | 0 a 10 V  |
| Rango total (palabra de datos)           | 0 a 27648   |
| Rango de sobreimpulso (palabra de datos) | 27.649 a 32.511   |
| Desbordamiento (palabra de datos)        | 32.512 a 32767  |
| Resolución                               | 10 bits   |
| Tensión de resistencia al choque máxima  | 35 V DC   |
| Alisamiento                              | Ninguno, débil, medio o fuerte  |
| Rechazo de interferencias                | 10, 50 ó 60 Hz  |
| Impedancia                               | $\geq 100 \text{ K}\Omega$  |
| Aislamiento (campo a lógica)             | Ninguno   |
| Precisión (25°C / 0 a 55°C)              | 3,0% / 3,5% de rango máximo   |
| Rechazo en modo común                    | 40 dB, DC a 60 Hz   |
| Rango de señales operativo               | La tensión de señal más la tensión en modo común debe ser menor que +12 V y mayor que -12 V |
| Longitud de cable (metros)               | 10 trenzado y apantallado   |

### 5.2.3 Puesta en marcha

El autómatas S7 -1200 es fácil de montar. Este se podría montar en un carril DIN horizontal o verticalmente dentro de un armario eléctrico. Para la refrigeración de este y el cableado se precisa dejar un espacio mínimo de 25mm en todas sus caras.

Nuestra CPU 1214C tiene limitaciones para el montaje de los tres tipos de módulos de ampliación:

- Para los módulos de señales permite un máximo de 8.
- Para los módulos de comunicación se permite un máximo de 3.
- Para la signal board se permite un máximo de 1 para cualquier CPU.

Estos módulos añadidos serian alimentados directamente por la fuente de alimentación con una tensión de 5 V DC.

En este caso no incluiremos ningún módulo añadido al PLC aunque calcularemos fácilmente si la fuente de alimentación de nuestra CPU puede suministrar la corriente necesaria para abastecer a todos los sensores necesarios utilizados en nuestros dos sistemas de control. En el caso de que fuese necesario incluir más módulos como por ejemplo módulos de señales se tendría que realizar el mismo cálculo para así decidir si se requiere una fuente de alimentación externa.

### Calculo de consumo de corriente

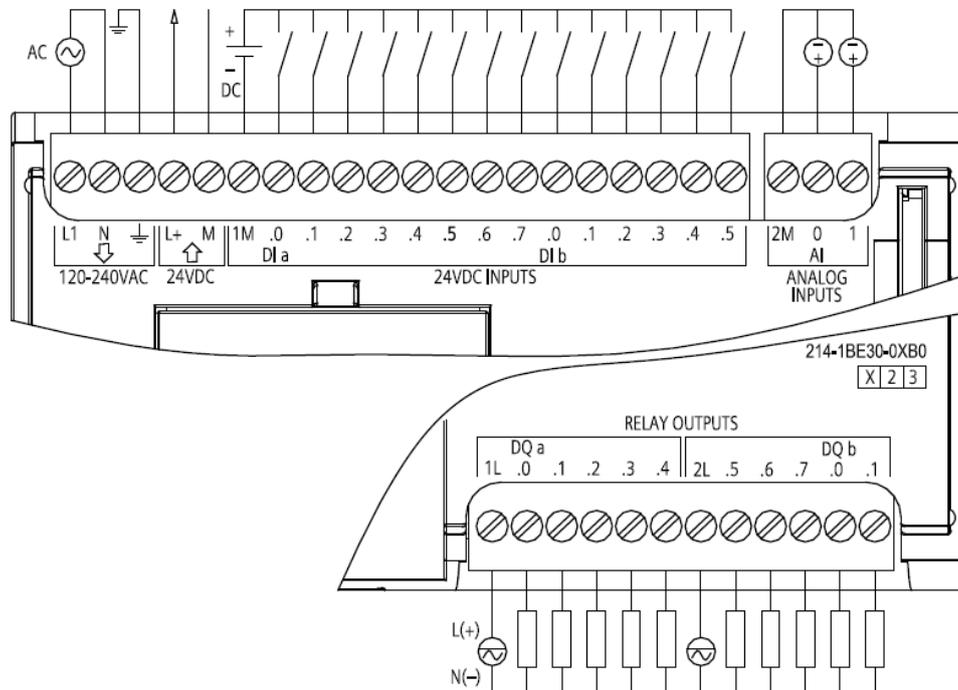
La corriente que es capaz de suministrar la fuente de alimentación de la CPU 1214C AC/DC/relé es de 400 mA. La CPU ya ha asignado la corriente necesaria para accionar las bobinas de relé internas por lo que no es necesario incluirlas en el cálculo.

$$\text{intensidad de consumo} = 14 \text{ entradas} * 4 \text{ mA} = 56 \text{ mA}$$

Como vemos la intensidad que consumen las entradas de los sensores es inferior a la que puede suministrar la fuente de alimentación de la CPU.

### Diagrama de cableado

En la siguiente figura se puede apreciar de una manera sencilla como se conecta nuestro autómatas S7-1200 a la red y a los posibles elementos que pudiese tener nuestro sistema, ya sean entradas (sensores analógicos o digitales) o salidas (relés, lámparas, etc.).



### 5.3 Pantalla táctil HMI

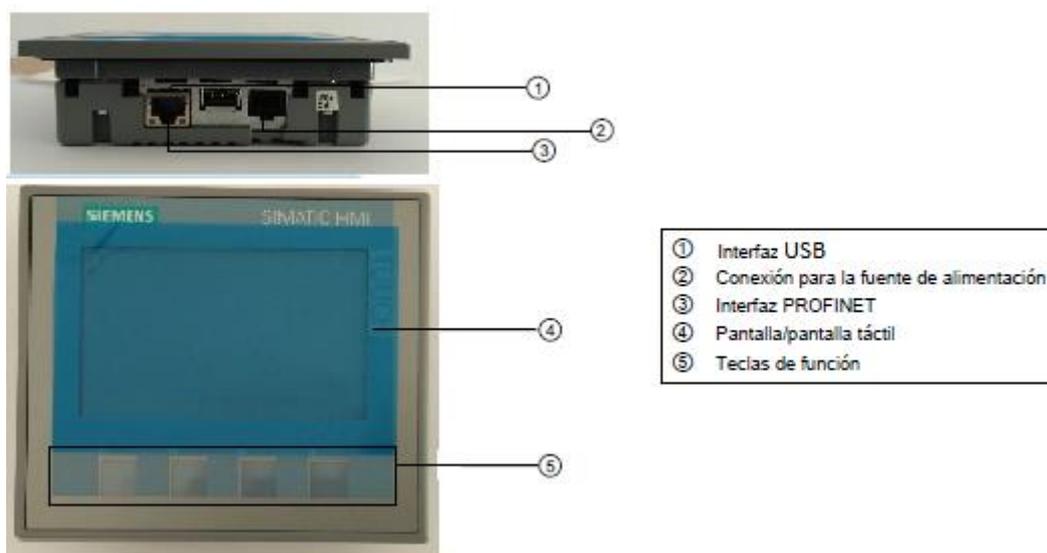
#### 5.3.1 Introducción

Como ya se dijo anteriormente un HMI es un elemento que hace posible la comunicación entre hombre y máquina. En este caso el dispositivo que hemos elegido para que asuma estas funciones es una pantalla táctil KTP400 Basic color PN de Siemens.

Esta pantalla tiene las aplicaciones básicas que vamos a requerir para el control de los dos sistemas de control a implantar ya que cuenta con sistema de avisos, administrador de recetas, funcionalidad de curvas, cambio de idioma, funciones de seguridad y usuario etc. Todo esto supondrá ciertas ventajas de visualización del sistema al operador y la calidad del proceso mejorara.

#### 5.3.2 Descripción

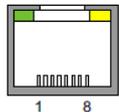
Esta pantalla táctil cuenta con los siguientes elementos a simple vista:



En las siguientes tablas representaremos las características más representativas de esta pantalla:

|                       | <b>KP400 Basic color PN</b>         |
|-----------------------|-------------------------------------|
| Tipo de pantalla      | LCD-TFT                             |
| Memoria de aplicación | 1024 kB                             |
| 1 x Ethernet RJ45     | 10/100 Mbits/s                      |
| Tensión nominal       | DC +24 V                            |
| Rango admisible       | de 19,2 V a 28,8 V (-20 %, +20 %)   |
| Tipo                  | Pantalla táctil analógica resistiva |
| Teclas de función     | 4                                   |

El puerto de comunicación que utilizara esta pantalla KP400 para comunicarse por la red Ethernet con el resto de elementos de la instalación será un conector RJ45 que tendrá esta distribución en sus pines:

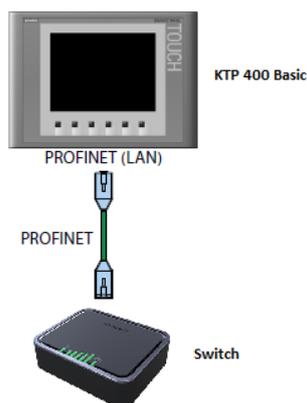


| Pin | Asignación |
|-----|------------|
| 1   | Tx+        |
| 2   | Tx-        |
| 3   | Rx+        |
| 4   | n. c.      |
| 5   | n. c.      |
| 6   | Rx-        |
| 7   | n. c.      |
| 8   | n. c.      |

### 5.3.3 Puesta en marcha

Para la puesta en marcha de esta pantalla a nivel eléctrico y de comunicación se tendrá que conectar de la siguiente forma:

- La fuente de alimentación como se dijo anteriormente será de 24 V DC. Debemos conectar la pantalla HMI a tierra y también debemos tener en cuenta si se conectan las pantallas de los cables de comunicación a tierra por ambos extremos se pueden producir diferencias de potencial que provoquen corrientes a través de estas líneas de datos por lo que se deberá de evitar.
- Para que la pantalla se pueda comunicar con el PLC debemos conectarla a nuestra red Ethernet vía Profinet con nuestro switch que contiene las direcciones IP de los dispositivos conectados donde este recibe los paquetes, verifica el destino y lo reenvía por el puerto correcto. En la siguiente imagen sencilla podemos ver la conexión:



## 5.4 Variador de frecuencia

### 5.4.1 Introducción

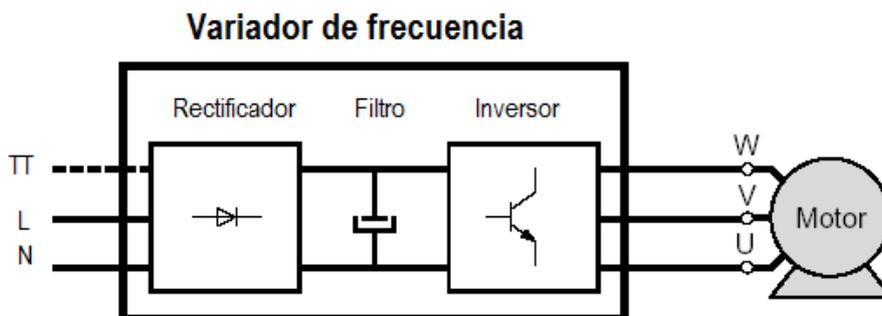
Como ya dijimos anteriormente un variador de frecuencia es un dispositivo electrónico capaz de controlar motores de inducción (asíncronos) a través de la frecuencia que se le suministra. Es el método más sencillo y utilizado para controlar este tipo de motores. Tiene grandes ventajas de uso como son:

- Amplio rango de velocidades ofreciéndonos el par máximo.
- Su uso para arrancar y frenar motores.
- Ahorro energético.
- Seguridad en diferentes parámetros.

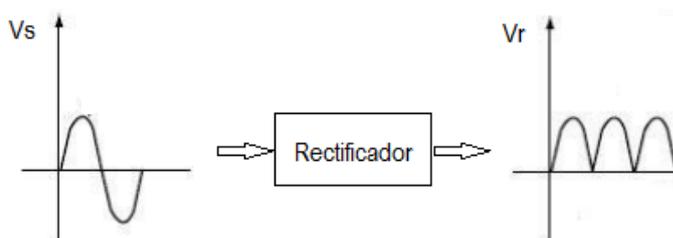
Los variadores que en este caso vamos a utilizar son los SINAMICS G120 de Siemens. Estos se componen de dos unidades como son la unidad de control y de potencia. En nuestro caso estas responden sucesivamente a CU240E-2PN y PM240-2 que permite conectar motores de máximo de 0.55 Kw.

### 5.4.2 Descripción

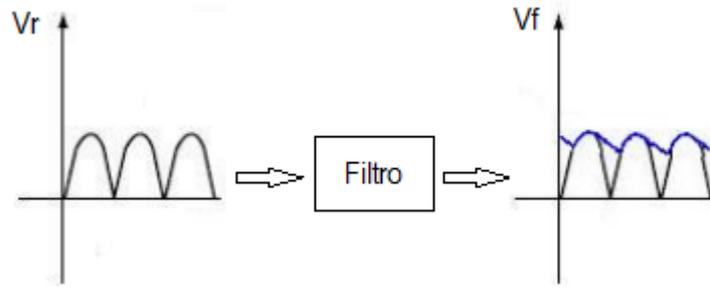
Los variadores de frecuencia están compuestos esencialmente de tres bloques que operan de distinta forma: el rectificador, filtro, Inversor.



El rectificador tiene la función de convertir la señal de voltaje de alimentación de CA a una tensión rectificadora. Suele estar compuesto por un puente de diodos o tiristores donde este crea una señal de onda completa. Este sistema tiene grandes pérdidas de energía, puesto que sólo se aprovecha entre un 60 y 70% del voltaje; el resto se pierde en forma de calor. En la siguiente figura vemos el efecto que se produce en la onda senoidal de entrada:

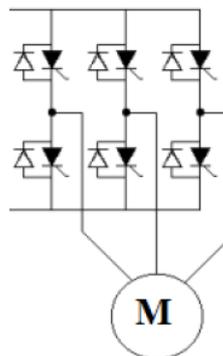


El filtro tiene la función de recoger la señal que sale del rectificador y convertirla en una señal continua quedando una pequeña tensión de rizado que siempre intentaremos que sea lo menor posible para asemejar la tensión de salida a una fuente de alimentación continua. Podemos establecer una relación entre la tensión de rizado y la capacidad del condensador mediante la siguiente expresión  $V_0 = i/fC$ . En la siguiente figura vemos el efecto que se produce en la onda rectificada de entrada:

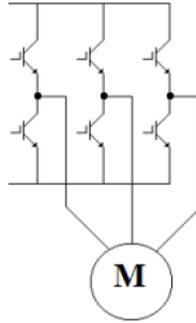


El inversor transforma la tensión continua que recibe del filtrado en otra tensión y frecuencia variables usando diferentes pulsos. Los dos inversores más usados son el inversor de 6 pasos y los PWM (Pulse-Width Modulation).

- Inversor de seis pasos : Este inversor ajusta y modifica el tiempo de ciclo de cada uno de los 6 pasos mediante tiristores ya que estos elementos electrónicos pueden usarse como conmutadores biestables donde pueden pasar de un estado de conducción a un estado no conductor. En esencia realizan la misma operación que los transistores pero tienen menores pérdidas por conducción, un mayor manejo de potencia y en general mejor funcionamiento en conmutación por su mayor velocidad. El circuito inversor en esencia quedaría como muestra la siguiente figura:



- El inversor PWM se compone de seis transistores de puerta aislada que conmutan abriendo y cerrando para formar pulsos cuadrados que alimentan el motor. Para variar la frecuencia de la señal de salida el número de pulsos y su periodo se ajustan en un tiempo de ciclo mayor para bajar la velocidad o en un tiempo de ciclo menor para subirla. Para controlar este tiempo de ciclo existe una etapa de control que se encarga de abrir o cerrar los transistores. El circuito inversor en esencia quedaría como muestra la siguiente figura:



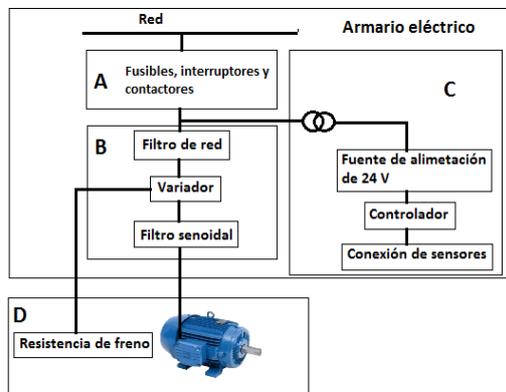
Las especificaciones más importantes de nuestro variador de frecuencia tanto del módulo de control CU240E-2 PN como del módulo de potencia PM 240-2 son las siguientes:

| Funciones                         | CU240E-2 PN           |
|-----------------------------------|-----------------------|
| Bus de campo                      | PROFINET              |
| Funciones de seguridad integradas | STO (Safe Torque Off) |
| Entradas digitales                | 6                     |
| Entradas digitales de seguridad*  | 1                     |
| Entradas analógicas               | 2                     |
| Salidas digitales                 | 3                     |
| Salidas analógicas                | 2                     |

| Funciones     | PM 240 - 2                 |
|---------------|----------------------------|
| Potencia (Kw) | 0.55                       |
| Input         | 1/3ØAC 200-240 V 7.5/4.2 A |
| Output        | 3ØAC 0-INPUT V In= 3.2A    |

### 5.4.3 Puesta en marcha

Los variadores de frecuencia están diseñados para el uso en entornos industriales donde cabe esperar que haya campos electromagnéticos (CEM) elevados. El funcionamiento de la instalación solo será fiable si se realiza cumpliendo las normas de CEM. Si el montaje de nuestra instalación fuese realmente en una industria deberíamos de cumplir el siguiente montaje:



#### Armario eléctrico:

- Zona A: Es donde la instalación se conecta a la red mediante elementos de protección.
- Zona B: Se encuentra la electrónica de potencia, donde estos equipos emiten CEM de alta energía.
- Zona C: Es la zona de mando y conexiones, estos equipos pueden verse afectados por CEM.

#### Fuera del armario eléctrico:

- Zona D: Se encuentran los motores, resistencias de freno etc. Estos emiten grandes CEM pero suelen estar alejados del armario eléctrico.

Dentro del armario tendremos diferentes tipos de cables con alto y bajo nivel de perturbaciones:

- Los cables con mayor riesgo de perturbaciones son:
  - Cable entre el filtro de red y el convertidor
  - Cable del motor
  - Cable entre el convertidor y la resistencia de freno
- Los cables con menor riesgo de perturbaciones debido a su construcción son:
  - Cable entre la red y el filtro de red
  - Cables de señal y de datos

Para la conexión de todo el armario eléctrico tendremos una serie de indicaciones para el correcto funcionamiento de la instalación

- Entre cables de diferente nivel de perturbaciones se debe dejar una distancia mínima de 25 cm, y si no fuese posible se instalarían chapas de separación conectadas a la placa de montaje.
- Los cables con diferente nivel de perturbaciones solo deben cruzarse en ángulo recto.
- Se tendera los cables de señal y de datos paralelos y con poca distancia entre ellos.
- Todos los cables tendrán poca longitud.
- Se conectaran las pantallas de los cables apantallados en un extremo del cable.

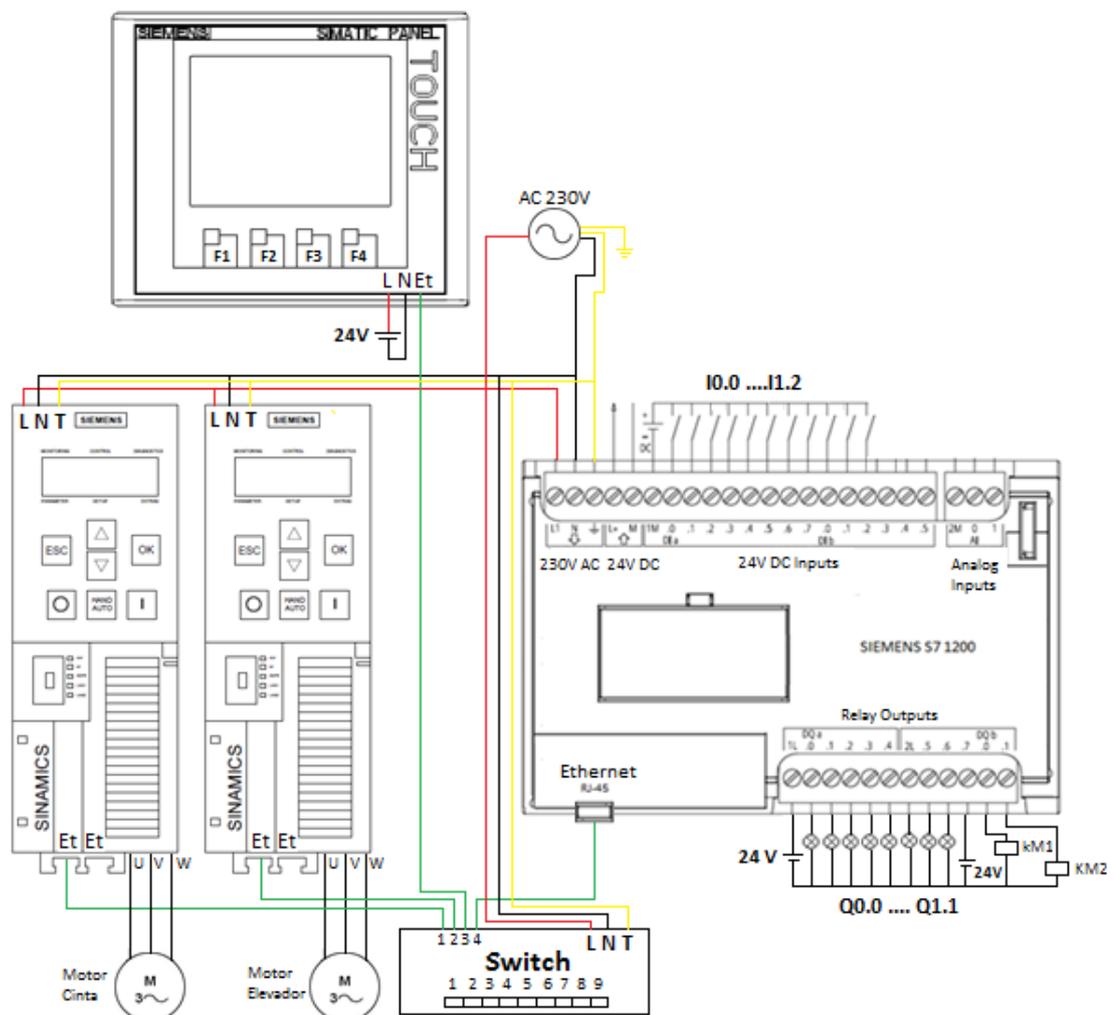
La conexión eléctrica a nuestros variadores será más sencilla ya que en nuestro laboratorio no tenemos grandes influencias electromagnéticas.

## 7 Desarrollo de los ejemplos prácticos

### 7.1 Solución implantada

Para poder demostrar todo lo expuesto anteriormente se van a desarrollar dos ejemplos prácticos: Automatización de una Cinta transportadora y Automatización de un proceso de selección de dos tipos de cajas que incluye un elevador. Estos son dos sistemas que gestionan de cierta forma los parámetros necesarios para el control de dos motores asíncronos. Para llevar a cabo las funciones requeridas en nuestros dos ejemplos se ha optado por utilizar dos variadores de frecuencia SINAMICS G120 gobernados por un controlador que en este caso es un autómata programable S7 1200 de Siemens. Mediante un interfaz HMI que en este caso es una pantalla táctil KTP 400 de Siemens comunicada con el autómata podremos controlar y visualizar las funciones requeridas en este tipo de controles. Para la comunicación de estos dispositivos hemos optado por un bus de campo, en este caso Ethernet llamado Profinet en el estándar de Siemens. Este tipo de comunicación se explicó en apartados anteriores.

En el siguiente esquema eléctrico veremos el conexionado entre los distintos dispositivos necesarios para llevar a cabo los dos ejemplos mencionados. En este esquema podremos ver el conexionado de alimentación, comunicación y el conexionado de entradas y salidas al autómata.



El glosario de las diferentes entradas y salidas del autómata programable para cada ejemplo es el siguiente:

**NOTA:** No ha sido necesario utilizar las entradas y salidas analógicas y digitales que poseen los variadores de frecuencia ya que estas funciones están gobernadas por el autómata programable.

- **Cinta Transportadora:**

- Salidas:

|   |                              |      |       |
|---|------------------------------|------|-------|
| - | Indicador_Der_Cinta          | Bool | %Q0.0 |
| - | Indicador_Izq_Cinta          | Bool | %Q0.1 |
| - | Indicador_Serv_Cinta         | Bool | %Q0.2 |
| - | Indicador_no_alr_fall_Cinta  | Bool | %Q0.3 |
| - | Indicador_Fallo_Activ_Cinta  | Bool | %Q0.4 |
| - | Indicador_Alarma_Activ_Cinta | Bool | %Q0.5 |

- Entradas:

|   |                   |      |       |
|---|-------------------|------|-------|
| - | Paro_Emerg_Cinta  | Bool | %I0.0 |
| - | Paro_Rampa_Cinta  | Bool | %I0.1 |
| - | Paro_Rapido_Cinta | Bool | %I0.2 |

- **Seleccionador de tamaños de Cajas:**

- Salidas:

|   |                     |      |   |
|---|---------------------|------|---|
| - | No_hay_fallos_ASCEN | Bool | %Q0.6                                       |
| - | No_hay_Alar_ASCEN   | Bool | %Q0.7                                       |
| - | KM1                 | Bool | %Q1.0 Contactor que acciona Cinta Entrada   |
| - | KM2                 | Bool | %Q1.1 Contactor que acciona Cinta del Elev. |

- Entradas:

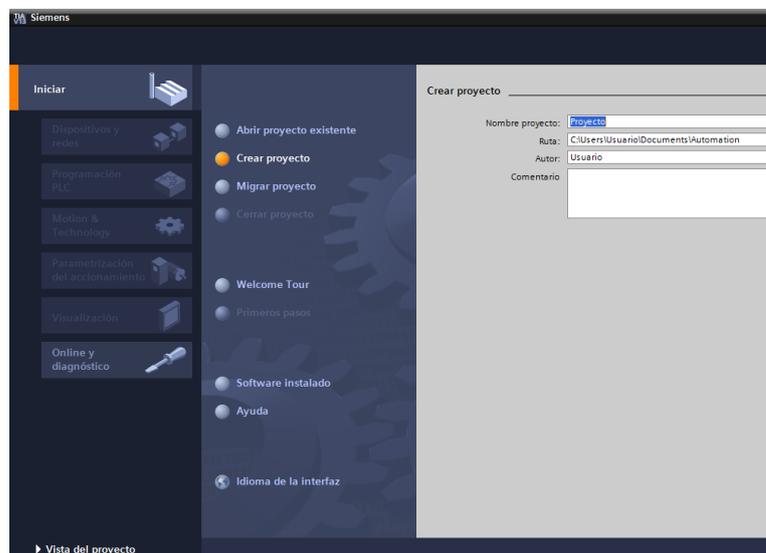
|   |                  |      |                                    |
|---|------------------|------|------------------------------------|
| - | PARO_Emerg_ASCEN | Bool | %I0.3                              |
| - | SE               | Bool | %I0.4 Sensor Entrada elevador      |
| - | SS               | Bool | %I0.5 Sensor Superior detecta Caja |
| - | SI               | Bool | %I0.6 Sensor Inferior detecta Caja |
| - | L0I              | Bool | %I0.7 Sensor Inferior Linea 0      |
| - | L0S              | Bool | %I1.0 Sensor Superior Linea 0      |
| - | L1I              | Bool | %I1.1 Sensor Inferior Linea 1      |
| - | L1S              | Bool | %I1.2 Sensor Superior Linea 1      |
| - | Parada Normal    | Bool | %I1.3                              |

## 7.2 Configuración de los ejemplos en TIA PORTAL

TIA PORTAL es la herramienta integrada que nos proporciona Siemens para poder programar los distintos autómatas programables y accionamientos de su gama de productos. Este Software incluye tanto la programación de PLC'S por medio del Software STEP7 como la programación de HMI'S mediante el Software WinCC. Para poder incluir y programar en el proyecto los 2 variadores de frecuencia debemos instalar un driver de accionamientos llamado Stardrive, este lo podremos descargar de la página oficial de Siemens Industry. Debemos tener en cuenta que para que podamos abrir el TIA PORTAL todas las versiones de Software anteriormente mencionadas deben tener la misma versión.

A continuación se ilustraran los pasos más importantes para la configuración de los distintos dispositivos que vamos a utilizar en nuestra instalación:

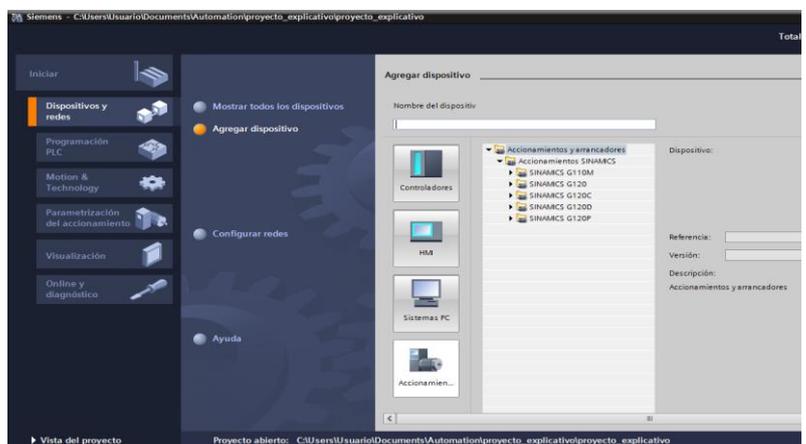
### 1) Comenzaremos por crear un proyecto asignando el nombre de este y su autor:



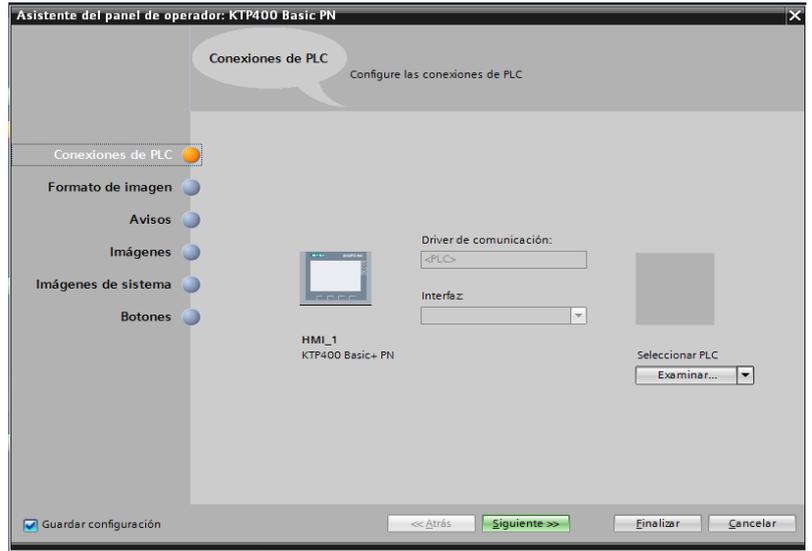
### 2) Tomando las Referencias de cada dispositivo, agregaremos al proyecto los hardware necesarios para su consecución:

En nuestro caso tendremos:

- 1 Controlador: CPU 1214 AC/DC/Rly , N° Serie: 6ES7 214-1BG40-0XB0
- 1 HMI: KTP 400 Basic, N° Serie : 6AV2 123-2DB03-0AX0
- 2 Accionamientos: SINAMICS G120 –CU240E-2 PN N° Serie: 6SL3244-0BB12-1FA0

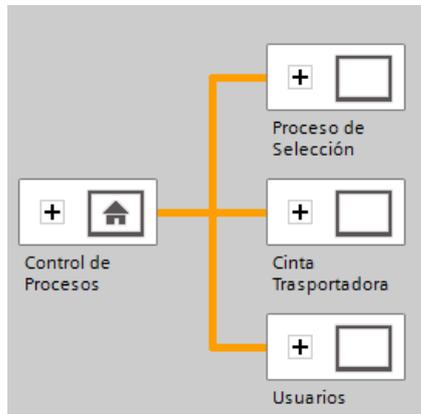


Cuando agregamos la pantalla HMI se nos abrirá un panel donde aparecen algunos parámetros de configuración. Estos pueden configurarse en este instante o en posteriores si todavía no tenemos claro las conexiones, configuraciones de pantalla etc.

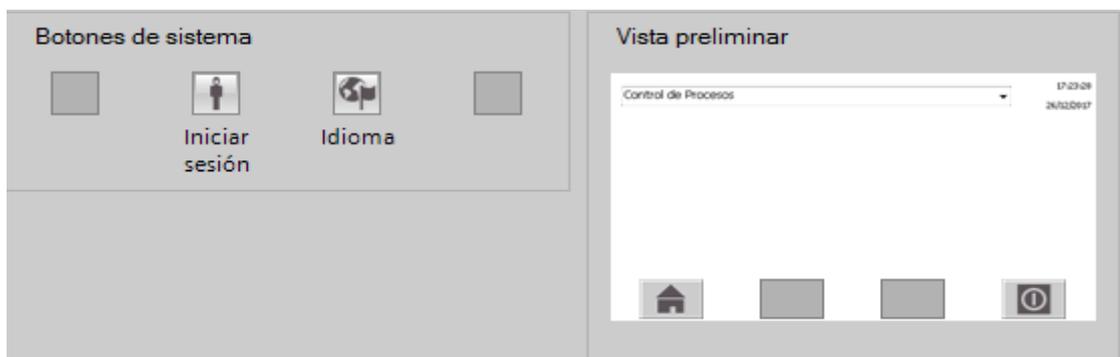


En nuestro caso configuraremos ciertos parámetros que ya conocemos como:

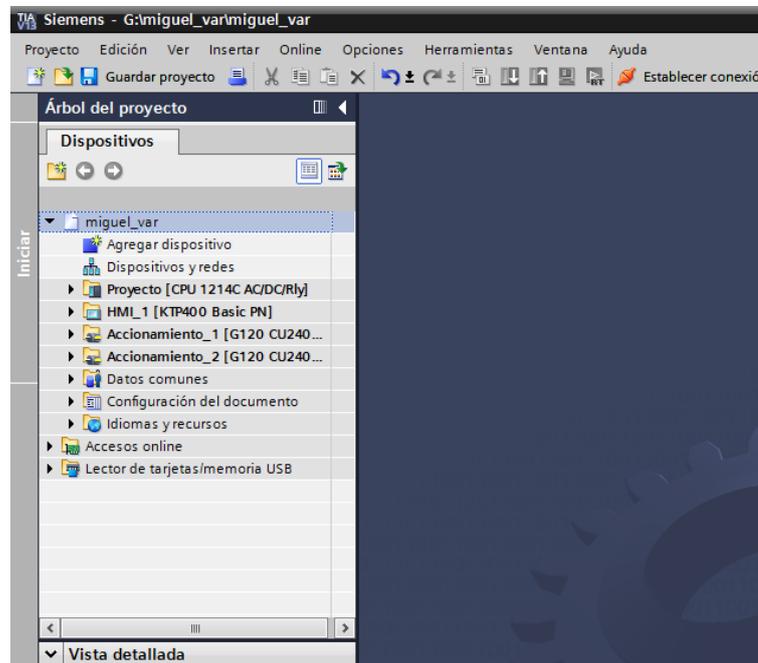
- El PLC que gobierna esta HMI
- Fondo de las Imágenes Blanco
- Sin avisos
- Imágenes que utilizaremos en el proyecto:



- Imágenes del sistema por el momento que será Control de Procesos
- Botones contaremos con imagen inicial y salir del RunTime:

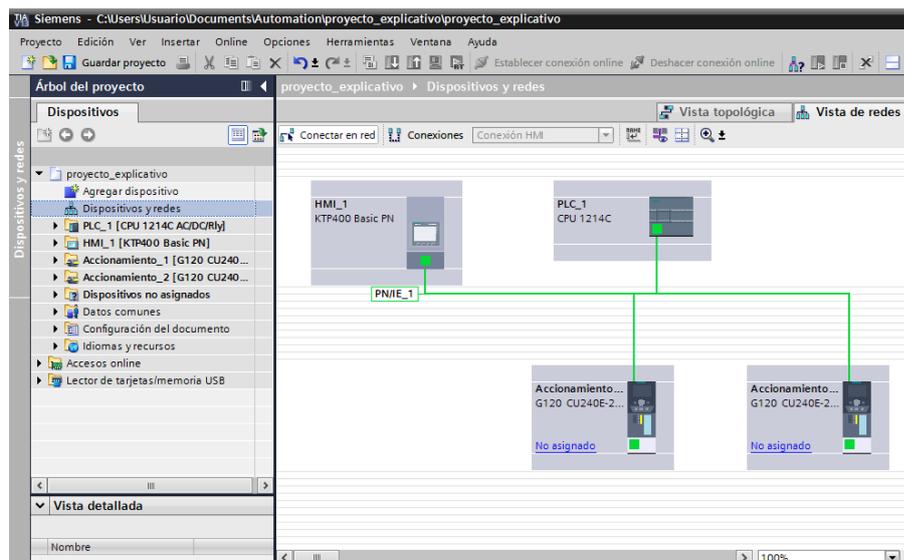


- 3) Con todos los dispositivos agregados tendremos una vista general del proyecto donde si hacemos click en cada dispositivo nos aparecen sus características y su pestaña de configuración:

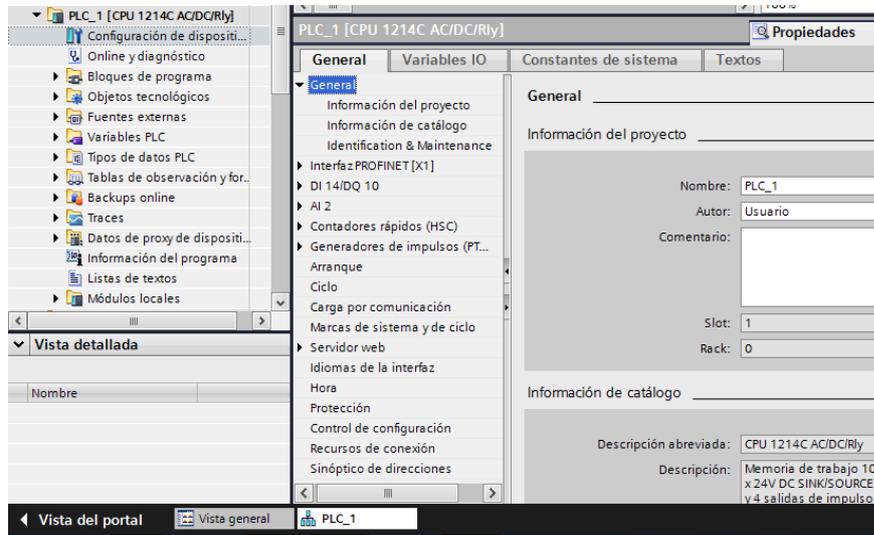


- 4) Haremos clic en dispositivos y redes donde nos permitirá crear una subred donde todos los dispositivos se puedan comunicar y reconocer en el proyecto. Enlazaremos la salida Ethernet de todos los dispositivos a la subred:

**NOTA:** La HMI ya está enlazada al PLC ya que la configuramos así en su configuración inicial.



5) Podemos por ejemplo comenzar a configurar los dispositivos por el PLC para ello haremos clic en él y después en configuración de dispositivo:



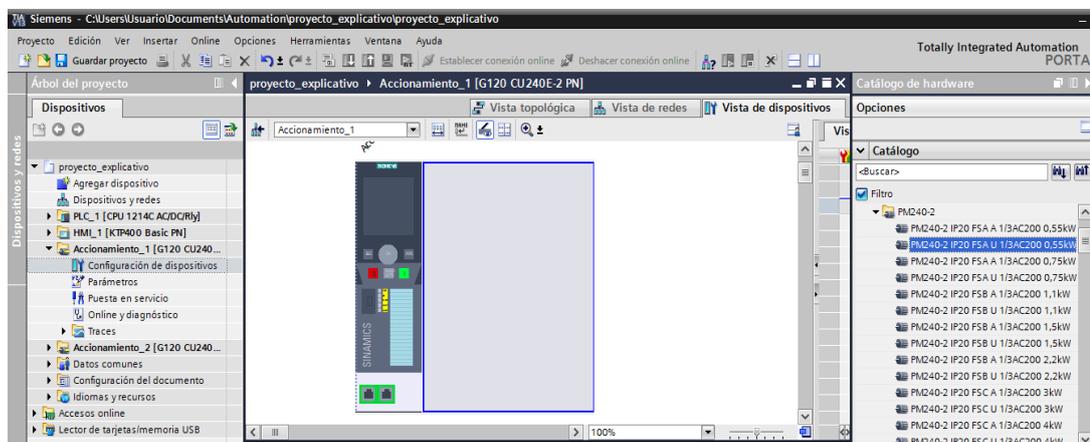
El PLC tiene variedad de parámetros configurables donde dependiendo de los requerimientos se podrán activar a desactivar diferentes funciones de este. En este espacio será necesario configurar lo siguiente:

- Asignar nombre del PLC en el proyecto y Dirección IP
- Activar Marcas del Sistema
- Fecha y Hora

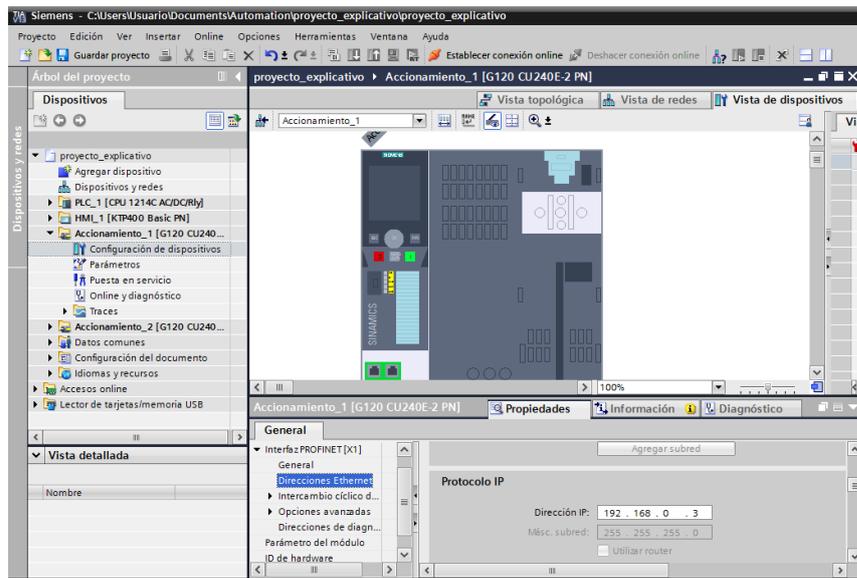
6) Para configurar los accionamientos “Variadores de frecuencia” debemos comenzar por asignarles:

**NOTA:** Los pasos a seguir para la configuración de los dos variadores será idéntica salvo en algunos puntos donde se indicara a que variador corresponde.

- Etapa de potencia correspondiente:

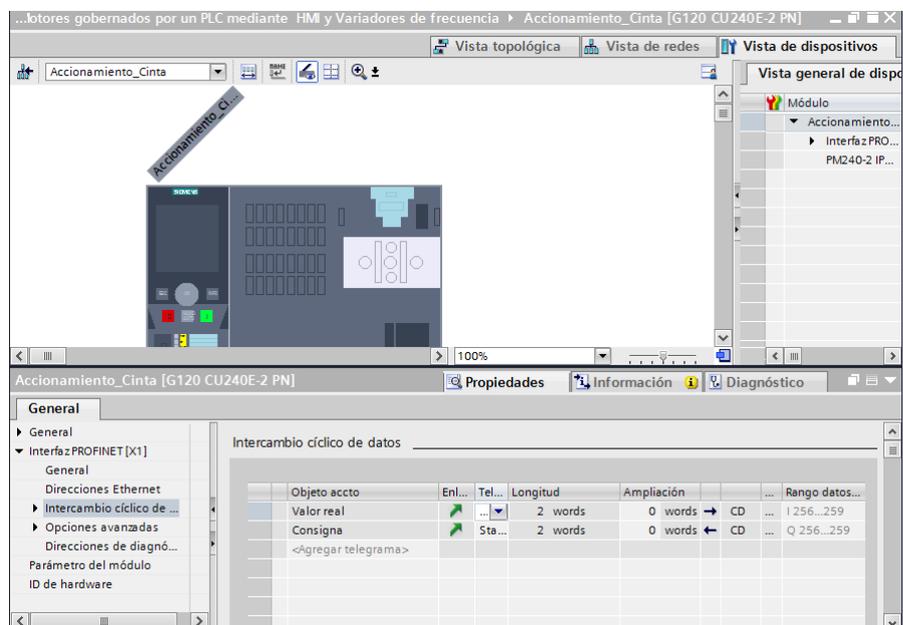


- Nombre de los accionamientos en el proyecto y Dirección IP:



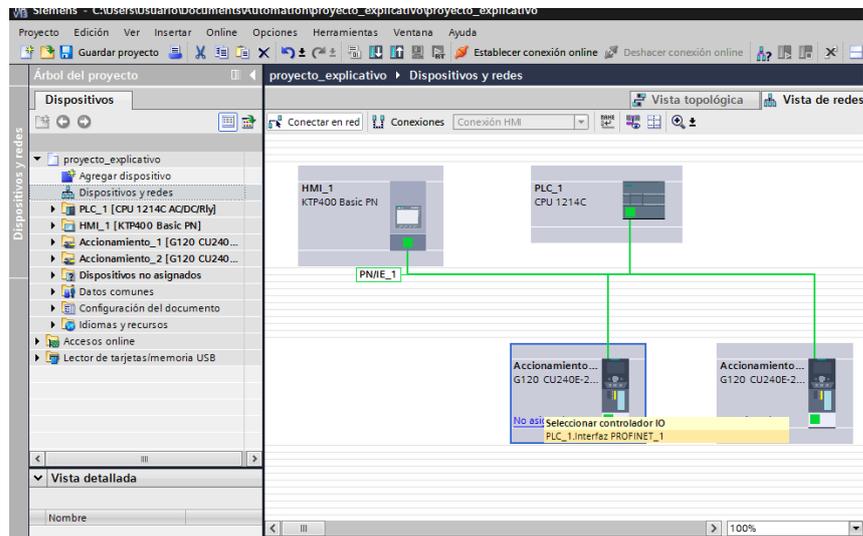
- Comprobaremos el telegrama que el accionamiento tiene asignado para comunicarse con su maestro, en este caso usaremos el Telegrama 1. Este telegrama usa 4 words o lo que es lo mismo 8 byte para comunicarse con el PLC.

De estas 4 palabras 2 de ellas tienen objeto de enviar datos al PLC "valor real y las restantes de recibir datos del PLC "Consigna.

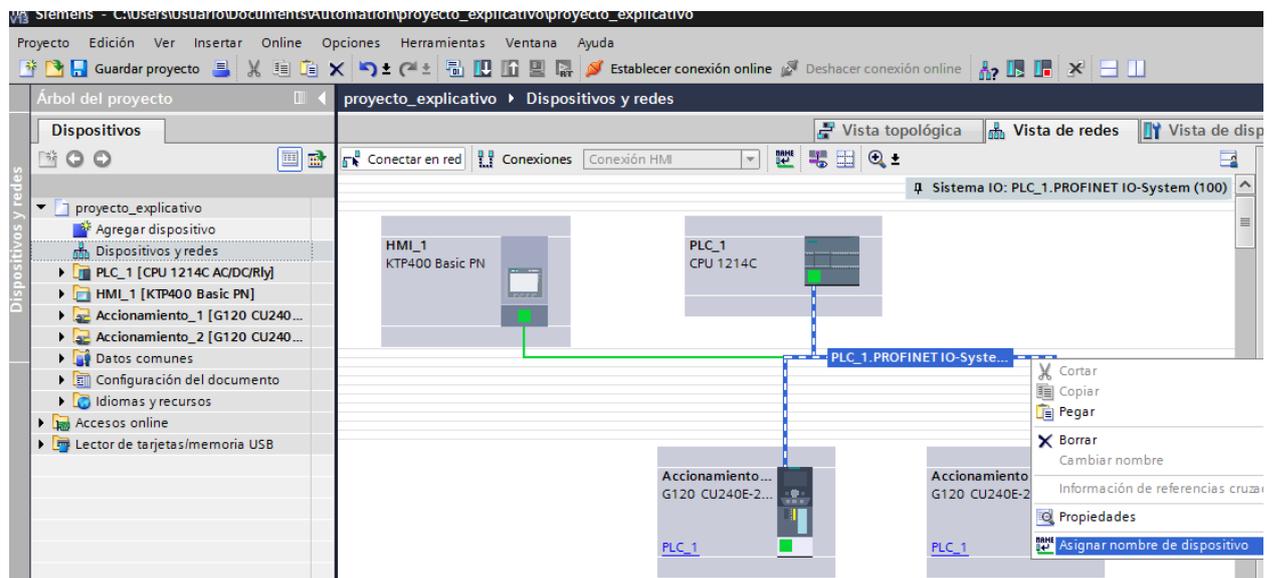


**NOTA:** Para conocer el significado de cada bit de estas palabras consultar las tablas de mando y estado en el anexo Hojas de datos.

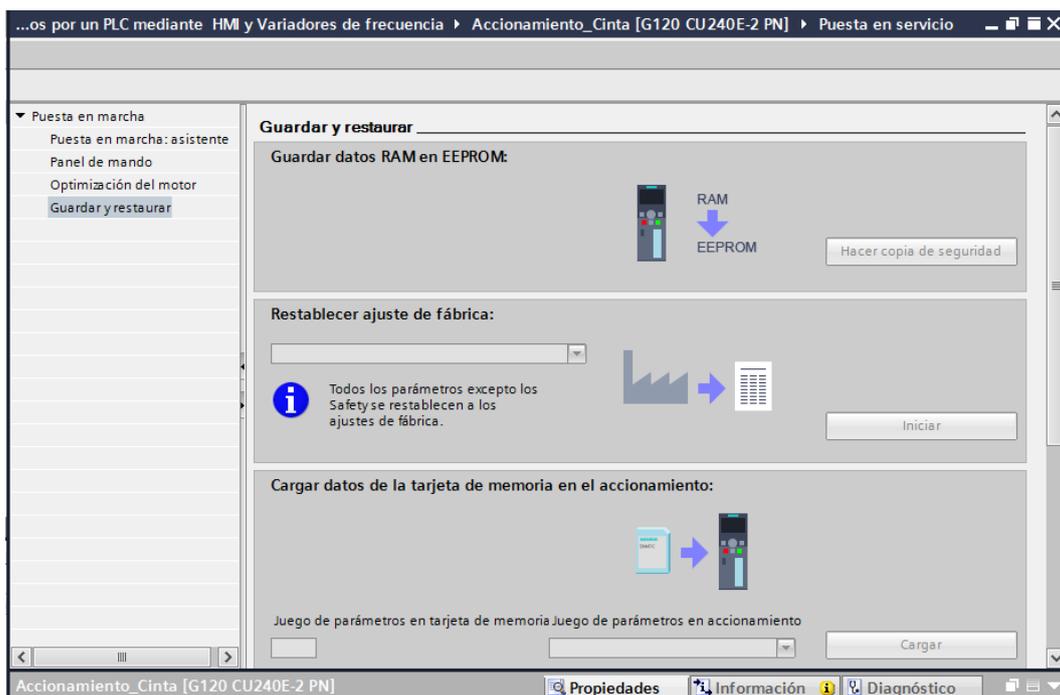
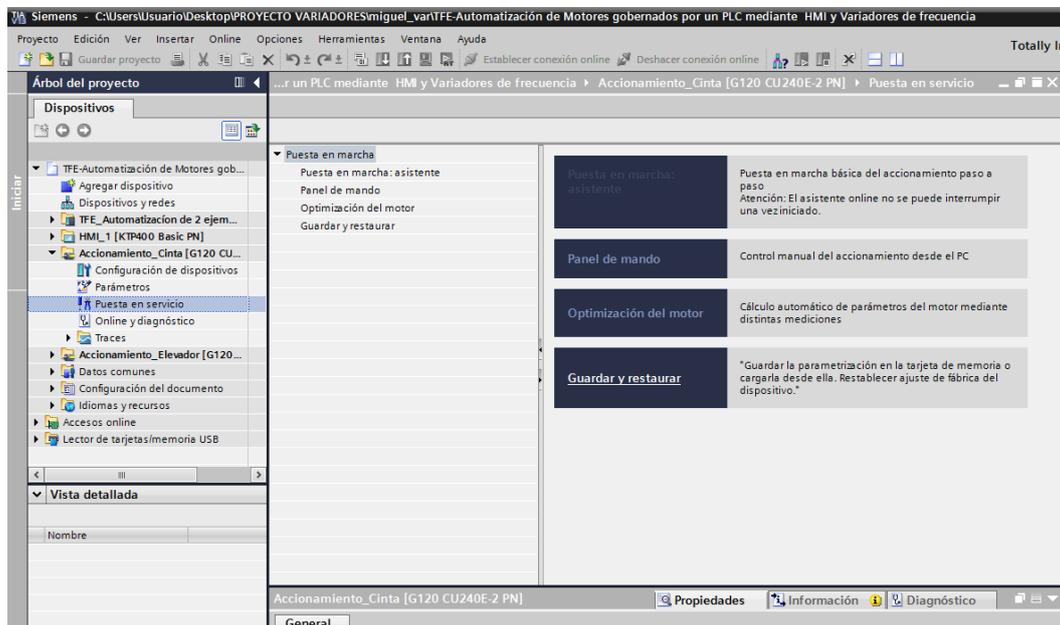
Los accionamientos serán esclavos del PLC por lo a estos se les tiene que indicar quien es su maestro, para ello iremos a la ventana de vista de redes y haremos clic en no asignado donde asignaremos el PLC:



Una vez asignado su maestro deberemos asignar el nombre que tengan los accionamientos en nuestro proyecto haciendo clic derecho en la red >> Asignar nombre de dispositivo:



Una vez llegados a este punto estamos en disposición de comenzar la puesta en servicio de los variadores de frecuencia. Es necesario restaurar los parámetros a sus ajustes de fábrica, para ello mediante USB nos conectaremos de manera online y haremos Reset de todos los parámetros:



**NOTA:** Los ajustes de fábrica no necesitan ser guardados en la memoria EEPROM.

**NOTA:** Si el accionamiento utilizado tiene configuración de seguridad también se restablece a fábrica.

**NOTA:** Una vez realizado el Reset se deberá de desconectar la alimentación y volver a conectar cuando se apaguen los leds.

Ya estamos listos para configurar los parámetros del motor y el accionamiento para ello iremos al accionamiento>> parámetros>> puesta en marcha: asistente:

Para esta configuración debemos tener en cuenta la placa de características de los motores que vamos a utilizar, para nuestro caso tenemos 2 motores trifásicos asíncronos:



Seguiremos los siguientes pasos:

**Puesta en marcha: asistente** ? X

**Clase de aplicación**

Clase de aplicación:  
[0] Experto

**i** Dispone de todas las posibilidades de ajuste del asistente.

Más detalles...

**Puesta en marcha: asistente** ? X

**Tipo de control/regulación**

Definición del tipo de control/regulación según la característica de carga a la tarea de control/regulación

Consigna Tipo de regulación:

[0] Control por U/f con característica lineal

[0] Control por U/f con característica lineal

[1] Control por U/f con característica lineal y FCC

[2] Control por U/f con característica parabólica

[3] Control por U/f con característica parametrizable

[4] Control por U/f con característica lineal y ECO

[5] Cont. por U/f p. accio. con gran prec. de frec. (sector textil)

[6] Control U/f para accionam. con gran precisión de frecuenc. y FCC

[7] Control por U/f para característica parabólica y ECO

[19] Control por U/f con consigna independiente de tensión

[20] Regulación de velocidad giro (sin encóder)

[22] Regulación de par (sin encóder)

**!** existentes internas del accionamiento en los bornes de E/S y se conectarán de nuevo según la configuración de E/S seleccionada.

Aplicar

**Puesta en marcha: asistente** ? X

**Ajuste del accionamiento**

Selección de norma de motor y ciclo de carga

Norma:  
[0] Motor IEC (50Hz, unidades SI)

Tensión de conexión de equipos:  
230 V

Aplicación etapa de potencia:  
[1] Ciclo de carga con leve sobrecarga acctos vectoriales

Puesta en marcha: asistente

**Motor**  
Determinación del tipo y los datos del motor

Configuración del motor  
Introducir datos del motor

Seleccionar el tipo de motor  
[1] Motor asíncrono

Seleccione el tipo de conexión de su motor y el funcionamiento a 87 Hz  
Estrella  Funcionamiento del motor a 87

Datos del motor

| Parámetro | Texto del parámetro                   | Valor              | Unidad |
|-----------|---------------------------------------|--------------------|--------|
| p304[0]   | Tensión asignada del motor            | 230                | Vef    |
| p305[0]   | Intensidad asignada del motor         | 0,40               | Aef    |
| p307[0]   | Potencia asignada del motor           | 0,12               | kW     |
| p308[0]   | Factor de potencia asignado del motor | 0,000              |        |
| p310[0]   | Frecuencia asignada del motor         | 50,00              | Hz     |
| p311[0]   | Velocidad de giro asignada del motor  | 1500,0             | 1/min  |
| p335[0]   | Tipo de refrigeración del motor       | [0] Refriger. n... |        |

Conexión en paralelo de motor Número:

Para este siguiente paso distinguimos dos configuraciones según el variador que estemos configurando.

Para el variador de la cinta transportadora tenemos:

Puesta en marcha: asistente

**Parámetros importantes**  
Definición de los datos dinámicos más importantes

Especifique los valores para los parámetros más importantes:

Límite intensidad:  Aef

Veloc. giro mín.:  1/min

Velocidad máx.:  1/min

Generador de rampa Tiempo de aceleración:  s

Generador de rampa Tiempo de deceleración:  s

DES3 Tiempo de deceleración:  s

Para el variador del elevador tenemos:

Puesta en marcha: asistente

**Parámetros importantes**  
Definición de los datos dinámicos más importantes

Especifique los valores para los parámetros más importantes:

Límite intensidad:  Aef

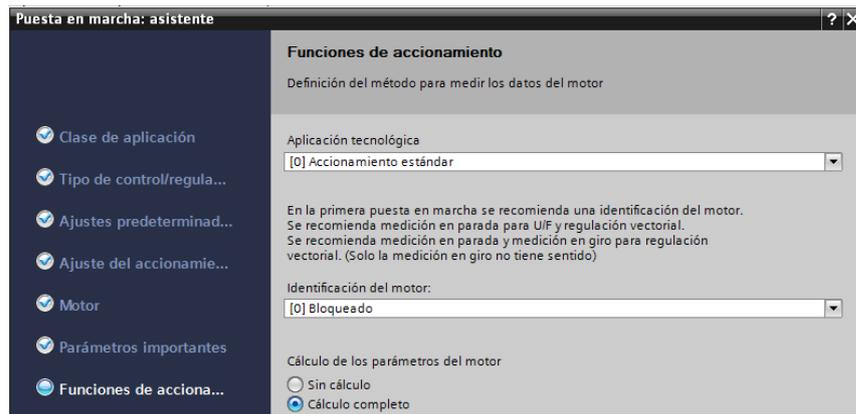
Veloc. giro mín.:  1/min

Velocidad máx.:  1/min

Generador de rampa Tiempo de aceleración:  s

Generador de rampa Tiempo de deceleración:  s

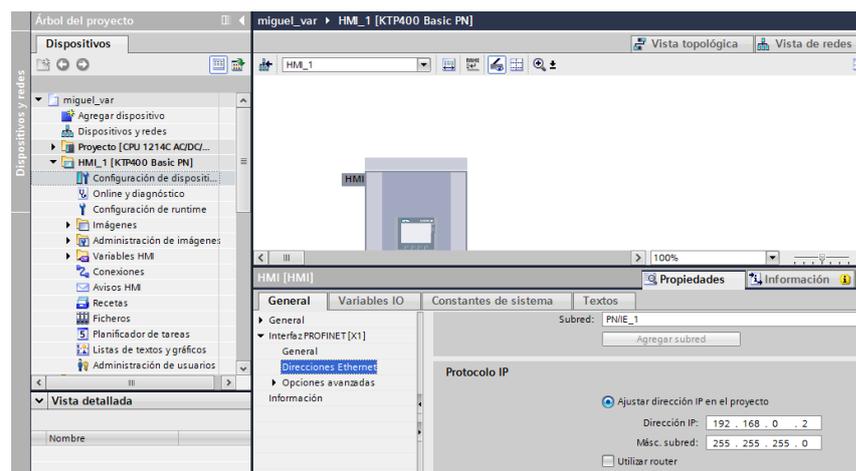
DES3 Tiempo de deceleración:  s



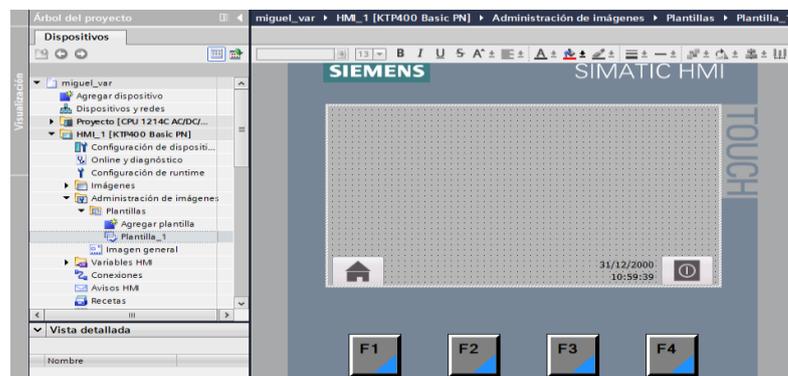
Con esto ya tenemos la configuración de nuestros 2 variadores de frecuencia. Ahora ya podríamos cargar esta información en ellos.

**7) Por ultimo nos queda configurar la pantalla TKP 400 Basic. Para comenzar deberemos hacer clic en el dispositivo>>configuración de dispositivo y configurar:**

- Nombre del dispositivo y dirección IP



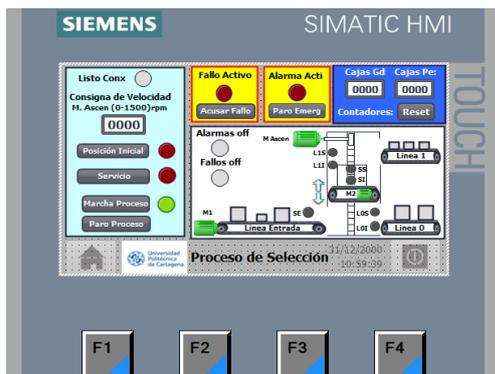
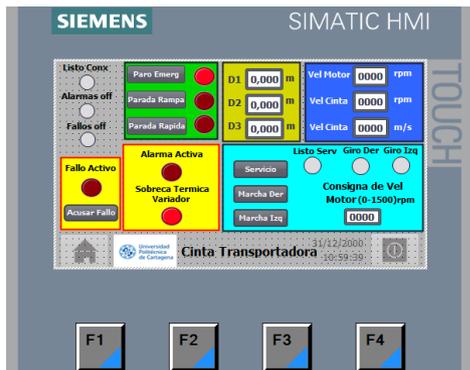
- En la pestaña de administrador de imágenes>>plantillas, podremos configurar el formato que tendrán todas las imágenes, así como las funciones de las teclas inferiores:



En nuestro caso:

- F1: Activara la Imagen de procesos.
- F2: Activara la Imagen de la cinta trasportadora.
- F3: Activara la Imagen del proceso de selección.
- F4: Desactivara la función RunTime “salir “.

Ahora faltaría configurar los elementos que va a contener cada Imagen creada anteriormente como por ejemplo pulsadores, indicadores, elementos de entrada/salida etc. Esto se explicara en siguientes apartados correspondientes a cada uno de los ejemplos. Aquí vemos el resultado final:



### 7.3 Cinta Transportadora

En este ejemplo práctico realizaremos la automatización de una cinta trasportadora, la cual podría pertenecer a cualquier proceso de mayor envergadura automatizado de forma continua o discreta. Una cinta trasportadora de cualquier fabrica puede trasportar diferentes productos al cabo del día, por este motivo la velocidad de esta tendrá que adaptarse a el tipo de producto que trasporta y a la fragilidad del mismo. Controlando la velocidad en continuo como la velocidad de arranque y frenado, evitaremos golpes y roturas de los productos trasportados, como por ejemplo botellas de vidrio, plafones de lámparas etc.

Nuestra cinta trasportadora está formada por una banda continua que se mueve entre dos tambores. Por lo general la banda se mueve por la fricción la cual se produce en uno de sus tambores, el otro tambor suele girar libremente, sin ningún tipo de accionamiento, y su función es servir de retorno a la banda. El tambor en el cual se produce la fricción es el que está conectado mediante una serie de engranajes al motor a controlar. Para la visualizar de forma correcta

valores como la velocidad de la cinta en m/s o rpm debemos conocer los valores de los engranajes que unen el motor al tambor de la cinta.

Consideraremos que el motor está unido mediante tres engranajes D1 D2 D3 al tambor que en este caso es el mismo diámetro que D3. Será necesario introducir los diámetros de estos engranajes mediante nuestra interfaz HMI para así poder adaptar el sistema de control en el caso de que por alguna circunstancia se deseara cambiar el tamaño d estos. A continuación vemos la relación de velocidades que existen entre el motor y la cinta:

Relación de trasmisión:

$$RT = \frac{w_2}{w_1} * \frac{w_3}{w_2} = \frac{D_1}{D_2} * \frac{D_2}{D_3} = \frac{w_3}{w_1} = \frac{D_1}{D_3}$$

Velocidad de la cinta (rpm):

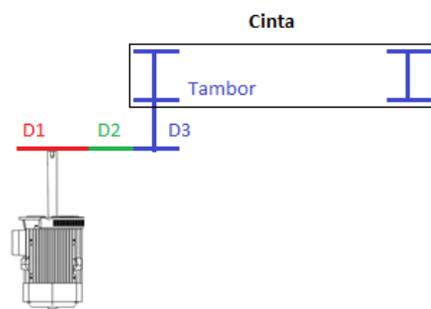
$$w_{3rpm} = RT * w_1 = \frac{D_1}{D_3} * w_1$$

Velocidad de la cinta (rad/s)

$$w_{3rad/s} = w_{3rpm} * \frac{2\pi}{60}$$

Velocidad de la cinta (m/s):

$$v_3 = w_{3rad/s} * \left(\frac{D_3}{2}\right)$$



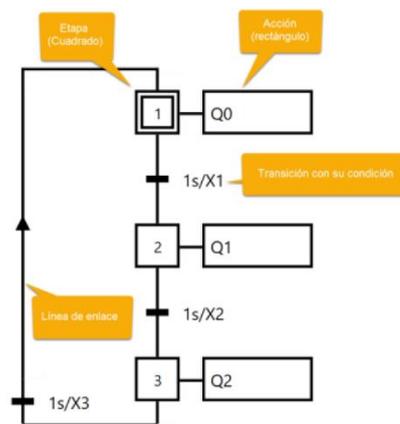
Las funciones más importantes que introduciremos en nuestro sistema de control serán las siguientes:

- Control de velocidad continuo.
- Control de la velocidad de arranque y paro de la cinta.
- Control de sentido de giro de la cinta.
- Control de averías en el correcto funcionamiento del motor.
- Visualización de magnitudes tales como velocidad del motor y de la cinta, sentido de giro, averías etc.

### 7.3.1 Automatización Cinta Transportadora

Para describir un proceso existen varios métodos que nos permiten automatizar procesos sin ser personas expertas en esta materia. En este caso utilizaremos GRAFCET, el cual es un diagrama funcional que describe estos procesos teniendo en cuenta las acciones que se realizan en él, y las condiciones que se han de cumplir para llegar hasta esa acción. Este método está homologado en Europa por varias normas, una de ellas la norma DIN EN 60848. Este diagrama se compone de:

- Etapas (Cuadrados): Estas pueden estar activas o inactivas, donde en cada una de ellas se activan o desactivan acciones según la secuencia del proceso. En cada GRAFCET solo puede haber una etapa activa de forma simultánea.
- Líneas de enlace: Estas nos permiten conectar todos los elementos individuales.
- Transiciones (línea que cruza la línea de enlace): La transición contiene una condición, donde si esta se cumple se activara la etapa siguiente inactivando la anterior.
- Acciones: Las acciones están siempre asociadas a una etapa. Se pueden conectar varias acciones a una etapa, en una acción se activaría por ejemplo un motor y una electroválvula.



Este ejemplo consta de 4 GRAFCET diferenciados para así poder realizar la tarea de automatización de una forma más sencilla y visual. Estos tienen como título:

- Proceso Principal Cinta Transportadora
- Datos Cinta Transportadora
- Alarmas Cinta Transportadora
- Fallos Cinta Transportadora

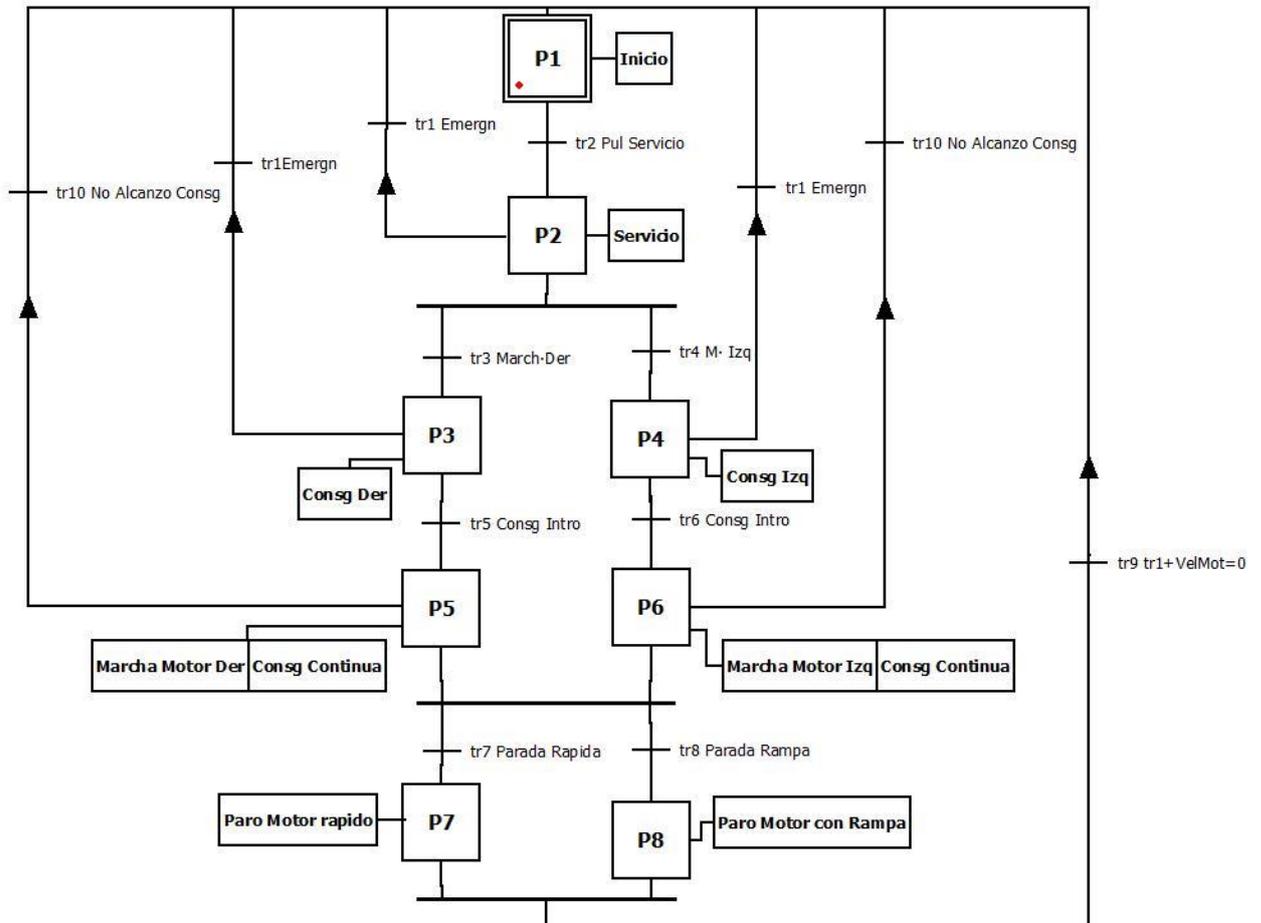
**NOTA:** En las transiciones solo aparece las condiciones más relevantes para pasar a la siguiente etapa, evitando así hacer estos diagramas en algunas ocasiones poco legibles y muy difíciles de representar. De tal forma que si se quiere ver la condición completa de esa transición estará disponible en el anexo Desarrollo del proyecto en TIA PORTAL.

### GRAFCET Proceso Principal Cinta Transportadora

Este diagrama representa el proceso de automatización de una cinta transportadora que incluye un variador de frecuencia para el control de su velocidad ya que si el motor estuviese conectado a la red con velocidad fija sería mucho más sencillo realizar. Este proceso tiene una etapa de inicio donde comenzara al iniciar el PLC. Cada etapa tiene asociada una o varias acciones que se intuyen por el título que contienen, donde por ejemplo P2 activaría la etapa de potencia del variador de frecuencia dejándolo listo para el posterior giro del motor en la etapa P5 o P6. Cada etapa tiene una transición que la inactiva, y activa la siguiente, donde también cabe la posibilidad de que el proceso se interrumpa volviendo al inicio por algún tipo de Fallo o Alarma por las

transiciones tr1, tr10, tr9. En todas las etapas y casi todas las transiciones estamos escribiendo o leyendo datos del variador por lo que deberemos usar el Telegrama 1 para realizar estas operaciones de bytes y bits.

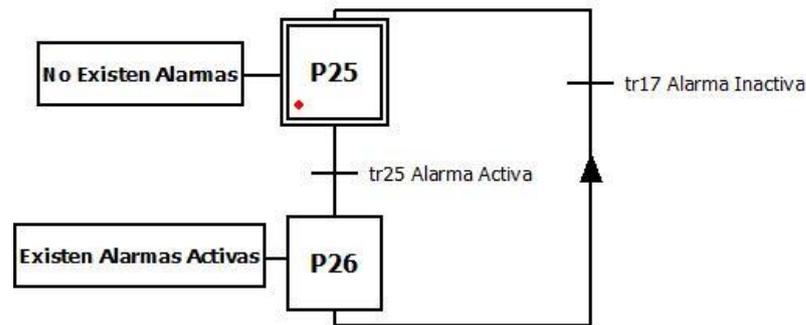
El GRAFCET del proceso principal es el siguiente:



## GRAFCET Alarmas Cinta Transportadora

Este diagrama representa el proceso de automatización de Alarmas, donde se detectan las posibles alarmas que puedan suceder tanto por detección del variador como Paros de Emergencia del operador de planta o empleados en la zona de planta. Como vemos consta de dos etapas, donde se pone de manifiesto si existen o no Alarmas. Este diagrama y los siguientes están relacionados con el diagrama principal de proceso ya que si la etapa P25 “No Existen Alarmas” no está activa el proceso principal se interrumpirá volviendo a su estado inicial P1. Cabe destacar que cuando existan Alarmas o no, el Operador podrá visualizarlo en su interfaz gráfico HMI.

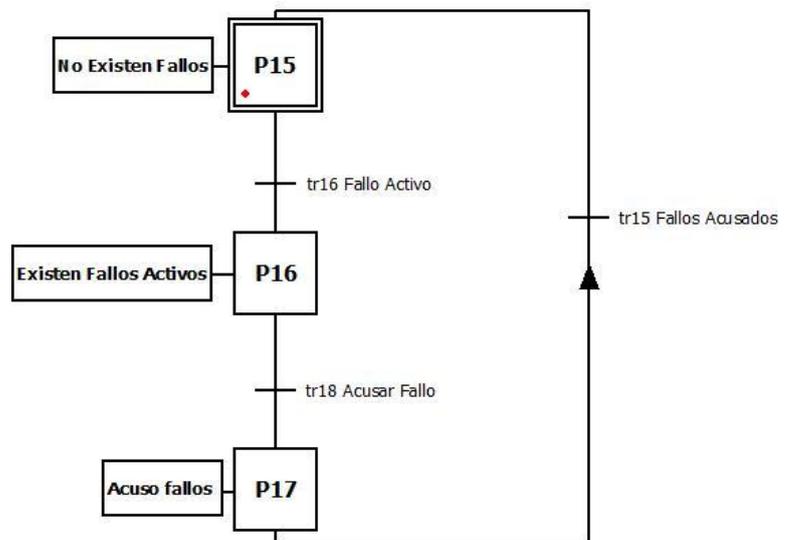
El GRAFCET de Alarmas en la Cinta Transportadora es el siguiente:



### GRAFCET Fallos Cinta Transportadora

Este diagrama representa el proceso de automatización de Fallos, donde se detectan los posibles fallos procedentes del variador de frecuencia. Como vemos tiene tres etapas donde como en el diagrama de Alarmas está relacionado con el diagrama principal de procesos para que si existe algún tipo de fallo este se interrumpa y vuelva al estado inicial P1. A diferencia del GRAFCET de Alarmas los Fallos del variador de frecuencia hay que acusarlos obligatoriamente. Esto se podrá realizar mediante la interfaz gráfica HMI. Cabe destacar cuando existan Fallos o no, el Operador podrá visualizarlo en su interfaz gráfico HMI.

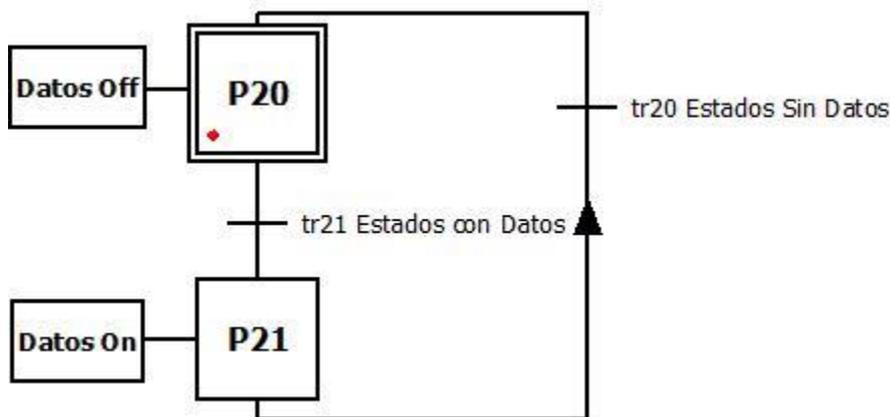
El GRAFCET de Fallos en la Cinta Transportadora es el siguiente:



### GRAFCET Datos Cinta Transportadora

Este diagrama representa el proceso de automatización de todos los datos de velocidades, sentido de giro del motor etc., que se muestran por la interfaz HMI. Consta de dos etapas donde en la etapa inicial no se muestra ningún dato por pantalla. En la segunda etapa se realizan todos los cálculos necesarios para poder visualizar de forma correcta lo anterior mencionado. Se puede destacar que este diagrama también está relacionado con el diagrama de proceso principal, mostrándose los datos en todos los casos menos cuando el proceso principal está en su estado inicial P1.

El GRAFCET Datos Cinta Transportadora es el siguiente:



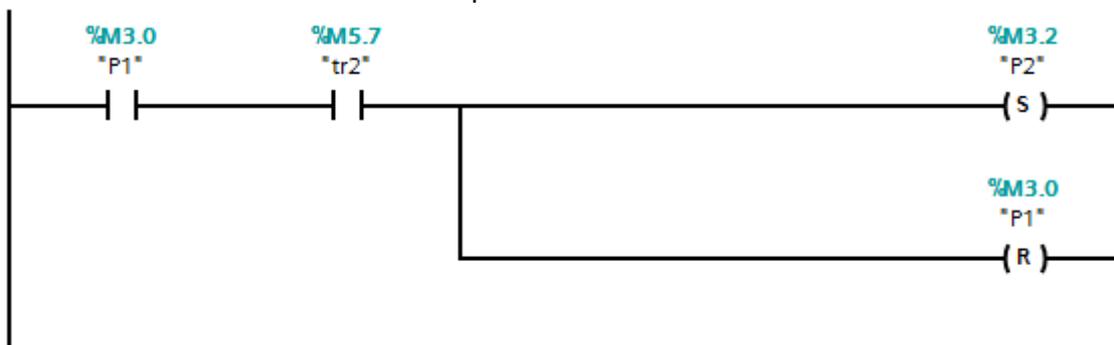
**NOTA:** No olvidar que para obtener de forma completa las condiciones de las transiciones y en ocasiones las acciones de las etapas debemos de ir al anexo Desarrollo del proyecto en TIA PORTAL.

### 7.3.2 Detalles de la programación en TIA PORTAL

Una vez realizados todos los diagramas de proceso “GRAFCET” debemos de transcribir estos a un lenguaje en el cual se pueda programar en el PLC. Es muy habitual en este tipo de automatizaciones utilizar el lenguaje de contactos “KOP” ya que SIEMENS ofrece una amplia gama de funciones lógicas ya implementadas para resolver las necesidades del programador, así como temporizadores, comparadores, conversores de datos etc. Cuando trabajamos con este lenguaje tenemos tres conjuntos diferenciados, como son:

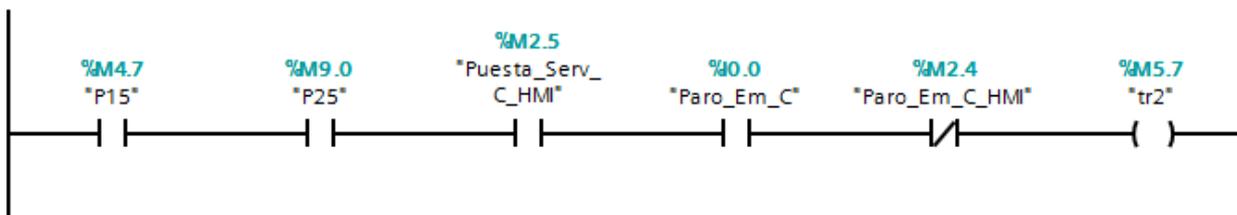
- Solución de alto nivel:** Esta implantación KOP consiste en transcribir el proceso visto desde la activación e inactivación de etapas dependiendo si se cumplen o no las transiciones. Como dato importante esto se deberá de realizar con lo que en lenguaje eléctrico se conoce como enclavamientos y en lenguaje KOP se le llama (Set, Reset).

A continuación por ejemplo vemos en el diagrama de proceso principal como se pasaría del estado P1 al P2 si se cumple la transición tr2:



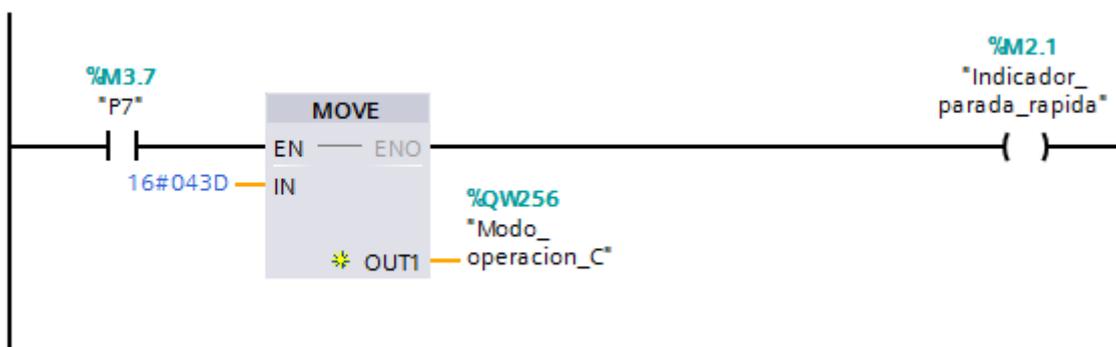
- Lógica de variables internas:** Esta transcripción del diagrama GRAFCET a KOP tiene en cuenta las condiciones necesarias para que la transición se cumpla. Así, esta da paso a que en la solución de alto nivel se pueda pasar a la siguiente etapa. Como dato importante la activación de la transición es una bobina simple a diferencia de la activación de las etapas como hemos visto en el ejemplo anterior.

A continuación por ejemplo vemos las condiciones necesarias para que se cumpla la transición tr2 del diagrama de proceso principal:



- Etapas Activación de Acciones:** En este conjunto de segmentos lo que implementamos a lenguaje KOP es la activación de acciones dependiendo de qué etapas tienen influencia sobre ellas, esto es que cierta etapa contenga en sus acciones la activación de una salida ya sea real o interna en el PLC. Como dato importante cualquier tipo de salida representada por una bobina simple no puede estar implementada en diferentes segmentos del programa ya que si fuese así de forma digital podríamos estar introduciendo a esta, diferentes valores y eso no es posible. Esto es lo que se conoce como referencias cruzadas.

A continuación vemos como la etapa P7 tiene dos acciones, por un lado parar el motor de forma rápida y a continuación activar un indicador (contacto interno o Marca) para la visualización de esta parada en la pantalla táctil HMI:



### Tipos de bloques en PLC SIEMENS CPU-1200

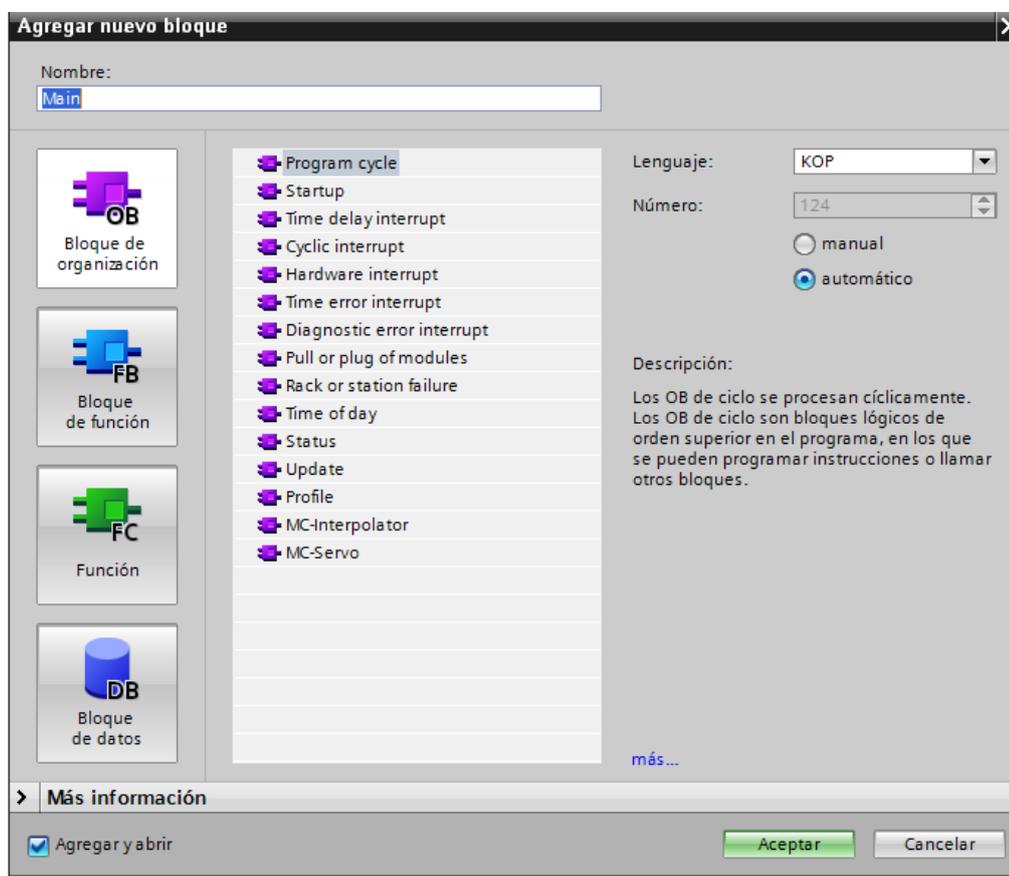
Los tres conjuntos anteriores pueden transcribirse de distintos modos al PLC. Cada automatización y en consecuencia desarrollo en lenguaje KOP tiene unas características específicas que para ello TIA PORTAL y los PLC SIEMENS en este caso ofrecen distintos bloques de programación.

NOTA: En este epígrafe daremos algunos apuntes sobre los bloques que hemos usado en este proyecto, pero para conocerlos todos consultar el anexo Hojas de datos donde en Bloques de programa del manual S7-1200 aparecerán todos en detalle.

Contaremos con los siguientes bloques:

- **Bloque de organización(OB):** Estos bloques son llamados por el sistema operativo y controlan:
  - El comportamiento en el arranque del sistema automatizado
  - Ejecución cíclica del programa
  - Tratamiento de errores

En nuestro proyecto este tipo de bloque es el que hemos decidido usar, uno para cada uno de los ejemplos en su forma “program cycle” ya que este se ejecuta cíclicamente y es de orden superior al resto. Para hacernos una idea tenemos todas estas posibilidades:



- **Bloques de datos globales (DB):** Estos sirven para almacenar datos del programa utilizables desde los demás bloques. El tamaño de estos varía dependiendo de la CPU utilizada. En nuestro caso estos bloques se han creado para almacenar el conteo de los temporizadores y de los contadores utilizados en los dos OB`S.

Ofrecen dos posibilidades de acceso:

- **DB Estándar:** Tienen una estructura fija en la declaración, se asigna a los elementos de datos un nombre simbólico y una dirección fija dentro del bloque.

- **DB Optimizado:** No tienen una estructura de acceso definida. En la declaración se le asigna un nombre simbólico pero no una dirección fija de memoria. Este es el caso de los DB'S utilizados en nuestro proyecto como IEC\_TIMER para los temporizadores y IEC\_COUNTER para los contadores.

### Variables en PLC SIEMENS CPU-1200

Para poder transcribir los diagramas GRAFCET como hemos visto a los tres conjuntos de programación en el PLC antes debemos introducir todas las variables que intervienen en los procesos. Se creará una tabla de variables para cada ejemplo para así facilitarnos el trabajo a la hora de buscar una en concreto. Estas variables pueden adoptar diferentes tipos de dato y diferentes direcciones. A continuación vemos varios ejemplos tomados de la tabla de variables de la Cinta Transportadora:

|    | Nombre                    | Tipo de datos | Dirección |
|----|---------------------------|---------------|-----------|
| 19 | Motor_giro_Der_Izq_C      | Bool          | %I256.6   |
| 20 | Alarma_sobrecarga_Termi_C | Bool          | %I256.7   |
| 21 | Valor_real_velocidad_C    | Word          | %IW258    |
| 22 | Modo_operacion_C          | Word          | %QW256    |
| 23 | Acusar_fallo_C            | Bool          | %Q257.7   |
| 24 | Indicador_Der_C           | Bool          | %Q0.0     |
| 37 | Vel_cinta_rpm             | Real          | %MD90     |
| 38 | Vel_cinta_m/s             | Real          | %MD94     |
| 39 | Vel_real_motor_C          | Real          | %MD98     |
| 40 | Pul_Acusar_fallo_C        | Bool          | %M2.0     |
| 41 | P1                        | Bool          | %M3.0     |
| 42 | P2                        | Bool          | %M3.2     |
| 60 | tr1                       | Bool          | %M5.6     |
| 61 | tr2                       | Bool          | %M5.7     |

Como vemos los tipos de datos pueden ser variados desde a nivel bit a Word, Dword etc., dependiendo de las funciones que valla a desempeñar la variable.

Para las direcciones tenemos tres posibilidades distintas:

- **ENTRADAS (I):** Son variables que proceden del exterior del PLC (entradas físicas), pueden ser analógicas o digitales.
- **SALIDAS (Q):** Son variables que activan o inactivan accionamientos (salidas físicas), pueden ser analógicas o digitales.
- **Marcas (M):** Desde un punto de vista técnico una marca es un espacio de memoria interno donde se puede leer y escribir. Para entenderlo de forma más sencilla podríamos llamarla salida virtual, esto quiere decir que físicamente no activa una salida sino que ese dato se almacena en la memoria del PLC. Este tipo de direcciones por ejemplo se utilizan para definir las etapas y transiciones o también para almacenar variables como la velocidad de la cinta en m/s por ejemplo.

## Programación en Pantalla KTP 400 (HMI)

Para continuar con la programación de nuestro ejemplo de la Cinta Transportadora una vez introducido todas las variables necesarias, los tres conjuntos de programación en el PLC y haber creado las Imágenes Necesarias etc., pasamos a definir todos los objetos y funciones que contendrá nuestra HMI para controlar y gobernar este ejemplo.

Comenzaremos por la Imagen inicial, que corresponde a Control de Procesos. Esta imagen va a contener tres funciones principales:

- Administrar los Usuarios de la interfaz HMI
- Activar la Imagen del control de la Cinta Transportadora
- Activar la Imagen del control del Proceso de Selección



Para administrar los usuarios tendremos tres botones y una salida para ver el usuario activo en ese instante. La programación de estos cuatro elementos es la siguiente:

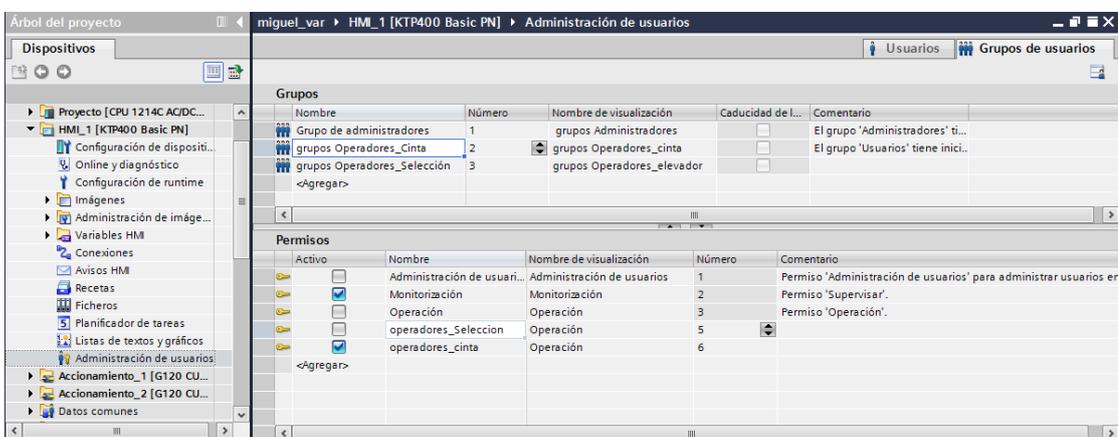
- **Usuarios:** Este botón nos activara la Imagen de Usuarios para ver los usuarios que tienen acceso en ese instante, para su programación iremos a: Elementos>> seleccionamos botón>> eventos>> soltar>>Activar Imagen >>Usuarios.
- **Login:** Abre el dialogo de iniciar sesión para los diferentes usuarios, para su programación iremos a: Elementos >> seleccionamos botón>> eventos>>pulsar>> MostrarDiálogoInicioSesión.
- **Cerrar Sesión:** Este botón cerrara la Sesión que en ese momento este activa, para su programación iremos a: Elementos>> seleccionamos botón>> eventos>>pulsar>> CerrarSesión.
- **Nombre de Usuario:** Esta salida nos mostrara el usuario activo, para su programación iremos a: elementos>> Campo E/S>>General>> variable: Nombre\_Usuario wString>>tipo: salida >> formato: Cadena de caracteres.

Para que podamos tener diferentes permisos para cada usuario creado es necesario crear grupos de usuarios para ello debemos de ir a: HMI>> Administrador de Usuarios>> Grupos de Usuarios.

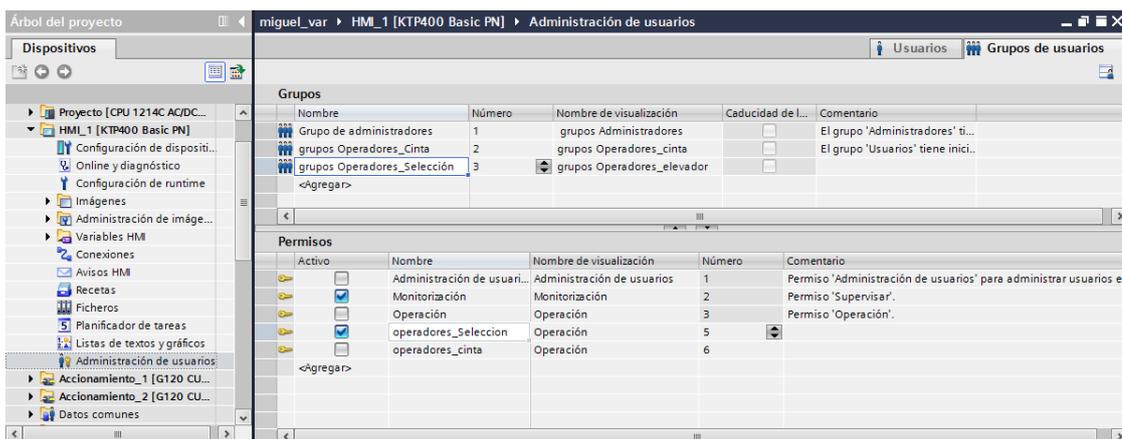
En este caso hemos creado dos grupos más el administrador por defecto. El administrador por defecto tiene todos los permisos posibles para poder realizar todo lo que le parezca.



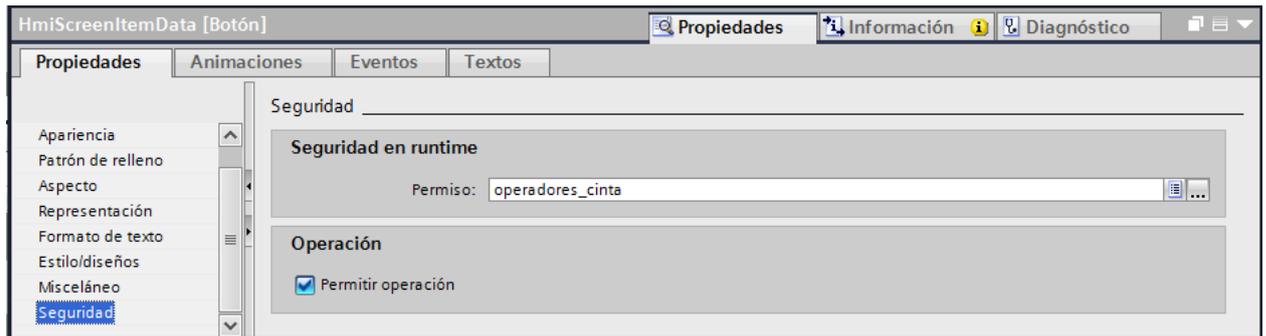
El grupo de operadores cinta tendrá los permisos de operación y visualización de la Cinta:



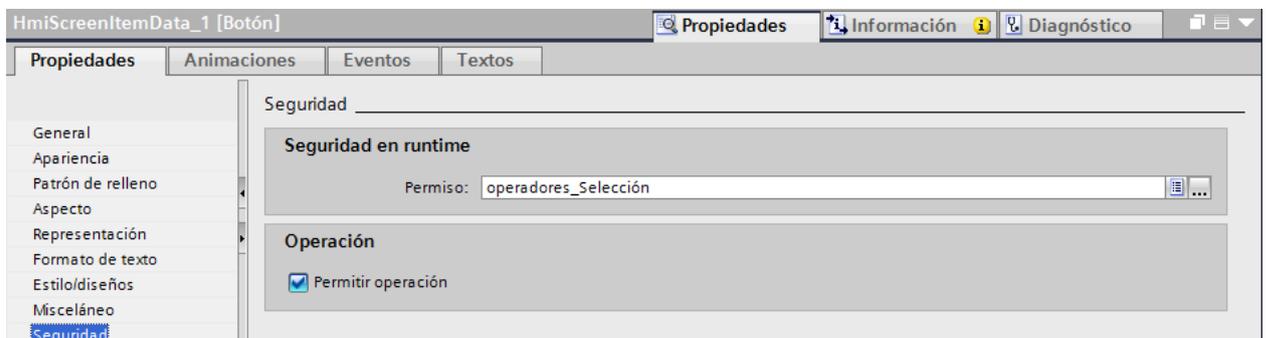
El grupo de operadores cinta tendrá los permisos de operación y visualización de la Seleccionador:



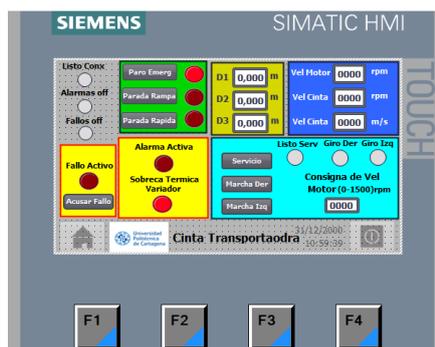
Para Activar la Imagen de la Cinta transportadora se ha de programar de la siguiente forma: Elementos>> seleccionamos botón>> Eventos>>Soltar>> Activar Imagen>> Cinta transportadora. Para que solo pueda activarla el Operador\_Cinta y por defecto el Administrador debemos de programar el siguiente elemento de propiedades: Seguridad>>Permisos>> Operadores\_Cinta



Para Activar la Imagen del Proceso de Selección de Cajas se ha de programar de la siguiente forma: Elementos>> seleccionamos botón>> Eventos>>Soltar>> Activar Imagen>> Proceso de Selección. Para que solo pueda activarla el Operador\_Selección y por defecto el Administrador debemos de programar el siguiente elemento de propiedades: Seguridad>>Permisos>> Operadores\_Selección.



Una vez configurada esta imagen podemos pasar a configurar la Imagen llamada Cinta Transportadora. En esta Imagen se encuentra todo lo relacionado con el control y visualización de este ejemplo práctico. Desde aquí el operador podrá tener suficiente información para saber el estado en el que se encuentra la Cinta y variar diferentes parámetros.



En esta Imagen aparecen grupos de elementos, de ahí que vallamos a configurar uno por grupo para no extendernos demasiado. Los grupos que aparecen son los siguientes:

- Botones
- Indicadores
- Campos de E/S
- Campos de E
- Campos de S

El grupo de los botones tienen los siguientes pulsadores:

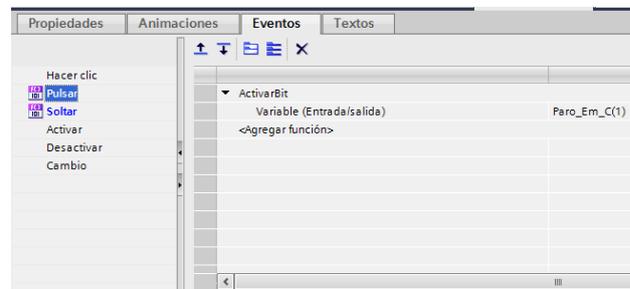
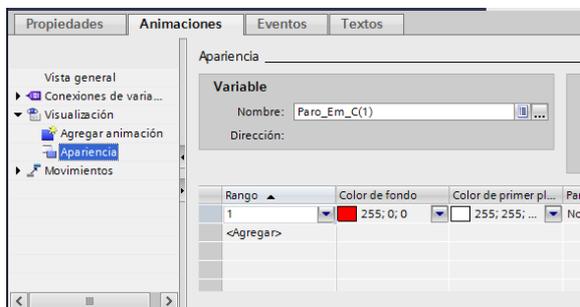
- Parada de Emergencia
- Parada Rápida
- Parada Rampa
- Servicio
- Acusar Fallo
- Marcha Derecha
- Marcha Izquierda

Para configurar por ejemplo el botón de parada de Emergencia se ha de programar de la siguiente forma: Elementos>> Botones>> Nombre del Botón>>

>>Eventos>>Pulsar>>Activar Bit>>Paro\_Emerg\_C

>>Eventos>> Soltar>>Desactivar Bit>>Paro\_Emerg\_C

>>Animaciones>>Visualización>>Apariencia>>Paro\_Emerg\_C>>1- Red

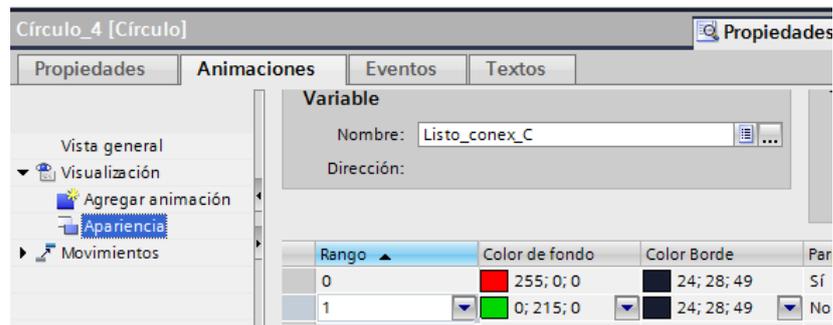


El grupo de los indicadores tiene los siguientes elementos:

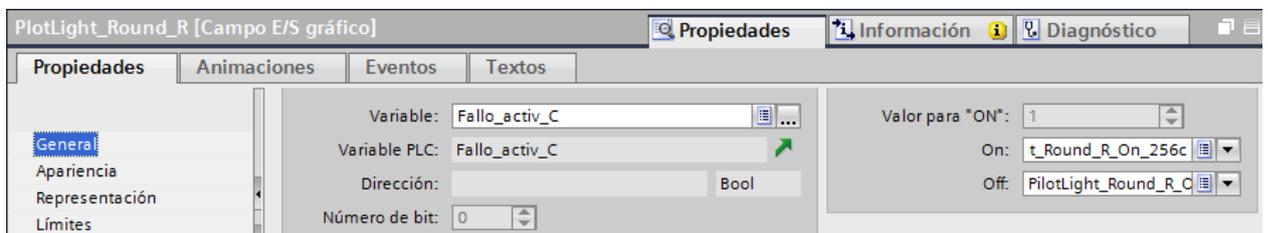
- Listo Conexión
- Alarmas off
- Fallos off
- Listo Servicio
- Giro a Derechas
- Giro a Izquierdas
- Alarma Activa
- Fallo Activo
- Sobrecarga Térmica en el Variador
- Indicador de Parada de Emergencia
- Indicador de Parada Rápida
- Indicador de Parada Rampa

Para programar los indicadores hemos optado por realizarlo de dos formas distintas, los indicadores de tipo círculo y los de tipo PlotLight. Para realizar una demostración por ejemplo programaremos el indicador listo conexión de tipo círculo e indicador de Fallos de tipo PlotLight.

- Para programar el indicador Listo Conexión realizaremos lo siguiente: Objetos Básicos>> Círculo>>Propiedades>>Animaciones>>Visualización>>Apariencia>>Variable:Listo\_Conexión\_C>>Rango: 0-Red-Parpadeo: si ; 1-Green:



- Para programar el indicador de Fallos realizaremos lo siguiente: Librerías>> Buttons and Switches>>PlantillasMaestras>>PilotLights>>PilotLight\_Round\_R>>Propiedades>>General>> Variable: Fallo\_Activo\_C>> Contenido: ON: PilotLight\_Round\_R\_ON; OFF: PilotLight\_Round\_R\_OFF:



Los Campos E/S son Elementos los cuales se tiene la opción de escribir en ellos si solo son campos de entrada, leer en ellos si solo son campos de salida o leer y escribir si son campos de E/S. En nuestro caso, este ejemplo práctica contiene las tres modalidades donde la única diferencia de programación es esta y su respectiva variable correspondiente.

Los campos de Entrada programados son:

- Diametro1
- Diametro2
- Diametro3

Los campos de Salida programados son:

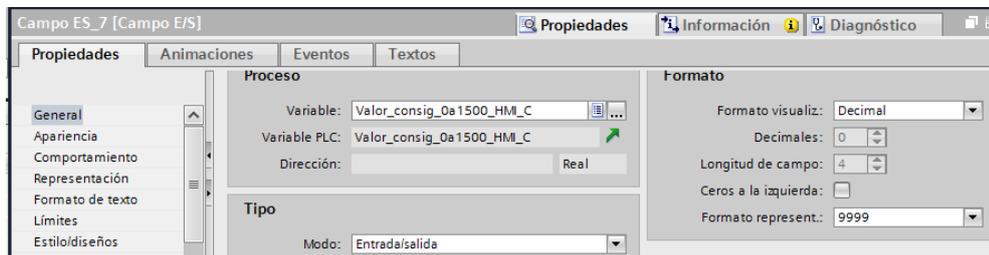
- Velocidad del motor (rpm)
- Velocidad de la Cinta (rpm)
- Velocidad de la Cinta (m/s)

El campo de E/S programado es:

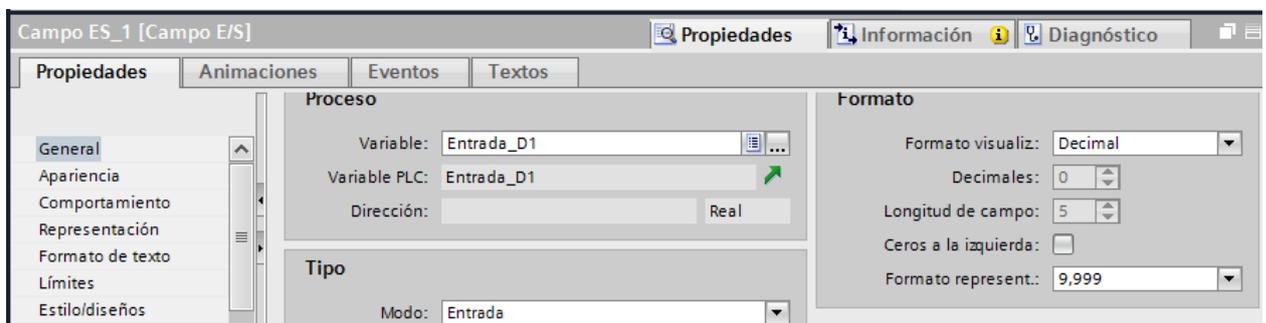
- Valor de consigna de velocidad del Motor (rpm)

A continuación vamos a especificar un ejemplo de cada modalidad.

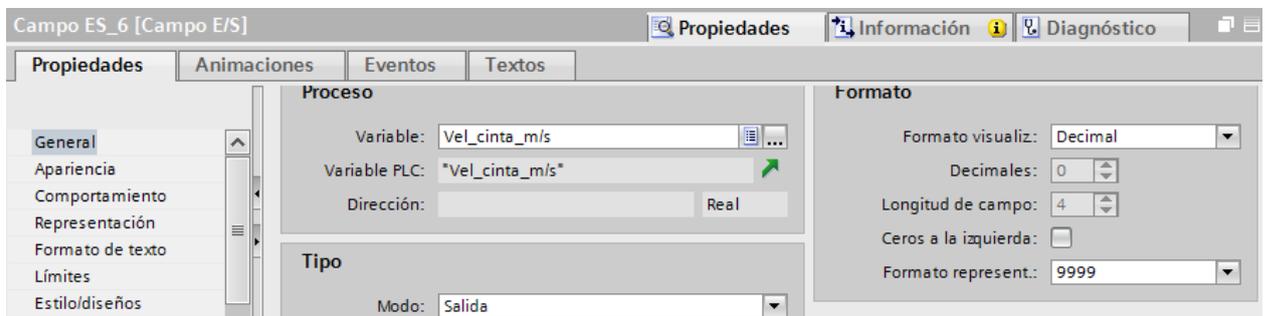
Para la modalidad de Campo E/S utilizaremos el campo de velocidad del motor, donde este se programara de la siguiente forma: Elementos>> Campo E/S>>Propiedades>>General>>Variable: Valor\_consig\_0a1500\_HMI\_C>> Formato: Decimal>>Modo: Entrada/Salida:



Para visualizar un campo de entrada por ejemplo vemos el diámetro D1:



Para visualizar un Campo de Salida por ejemplo vemos la velocidad de la cinta en m/s:

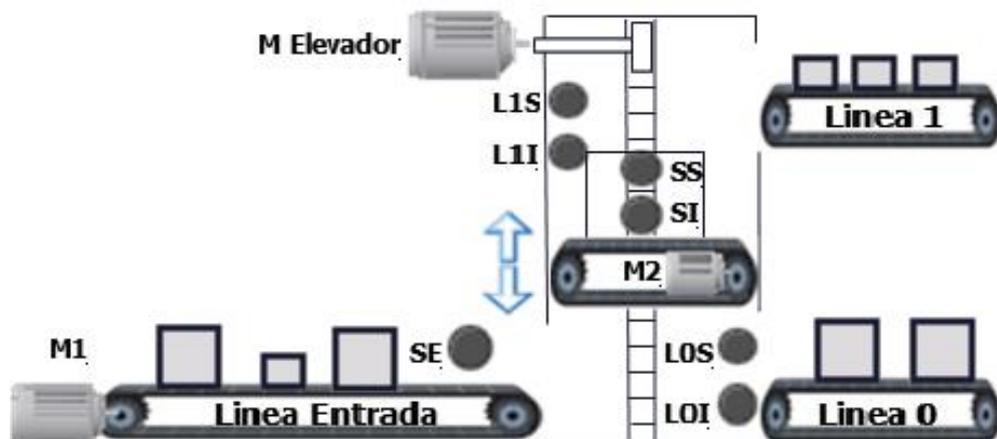


**NOTA:** Lo visto en este apartado (7.3.2 Detalles de la programación en TIA PORTAL) nos sirve para los dos ejemplos prácticos llevados a cabo, por lo que en el ejemplo del Proceso de Selección de Cajas se obviara lo que ya haya sido explicado.

## 7.4 Proceso de Selección de Cajas

En este ejemplo práctico realizaremos la automatización de un proceso en el cual se seleccionan dos tamaños distintos de cajas. Esto se hace con la ayuda de un elevador industrial que se encarga de elevar el tamaño de cajas más pequeño a otra cinta transportadora más elevada. Para todo el control y visualización del proceso se ha dispuesto de la misma interfaz HMI y el mismo PLC que en el anterior ejemplo ya que estos dispositivos nos permiten manejar gran cantidad de variables. Este tipo de automatizaciones la podríamos encajar en un almacén de cualquier tipo de productos o en una empresa de transportes para separar los productos que van a una ciudad u otra, esto siempre adaptando el tipo de detectores al caso específico donde se instale.

De una manera gráfica podemos visualizar el proceso y donde se encuentran los componentes y sensores de la instalación.



El elevador cuenta con 2 motores (M2, M Elevador), el primero para sacar las cajas a la línea 0 o línea 1 y el segundo para subir o bajar la plataforma que contiene la caja. Este último será el que cuente con un variador de frecuencia para hacer que las transiciones y paradas de la plataforma sean suaves reduciendo el estrés de todos los mecanismos y evitando posibles daños en los productos que contienen las cajas. También para que al elevador le lleguen cajas hay una cinta transportadora activada por un motor (M1), donde este motor podría ser un motor asíncrono como (M2).

Para que la secuencia y el funcionamiento del proceso sean correctos y seguros necesitaremos una serie de detectores que nos ayuden a conocer el estado del sistema. Para la elección del tipo de detector a colocar en cada caso se tendrán en cuenta parámetros tecnológicos y estructurales tanto del material con la que están construidas las cajas, color etc., como del método de arrastre de la plataforma de elevación por ejemplo. A continuación definiremos la función de cada uno de ellos:

- SE:** Este es un detector que está colocado cerca de la entrada al elevador para evitar que cuando el ascensor este en movimiento, fuera de su posición inicial, el motor de la cinta de entrada siga activo y las cajas se precipiten al suelo causando el daño a los productos que contienen las cajas y el posible daño en la instalación. Este detector podría ser capacitivo, óptico, dependiendo del material de las cajas como ya hemos comentado antes.

- **SS y SI:** Estos son dos detectores alojados en la plataforma de elevación colocados uno sobre otro. Su función es determinar si la caja es de mayor o menor tamaño para realizar la selección. Estos podrían ser autoajustables en altura para que fuese un sistema dinámico o por ejemplo en una aplicación concreta podrían ser sustituidos por lectores de barras o códigos QR para una selección de otro tipo.
- **L0I y L0S:** Estos son dos detectores alojados en el interior del elevador en su parte inferior, algo así como en la figura anterior. Su función es diferente uno respecto al otro. Cuando la plataforma está bajando y pasa por L0S el PLC envía una señal al variador para que comience a reducir su velocidad con una rampa de deceleración de alrededor de 1 segundo. Por otro lado cuando el detector L0I se activa la plataforma estará en su posición inicial por lo que el PLC enviara una señal de para rápida quedando el motor completamente bloqueado. Estos podrían ser por ejemplo finales de carrera
- **L1I y L1S:** Estos como los anteriores son dos detectores alojados en el elevador pero en su parte superior como indica la figura anterior. Su funcionamiento es análogo a los dos anteriores solo que ahora realizan las funciones de forma opuesta. Cuando L1I se activa hace que el PLC envíe al variador una señal de que reduzca su velocidad con una rampa de 1 segundo y L1S hace que el PLC envíe una señal al variador de parada rápida del motor.

#### 7.4.1 Automatización Proceso de Selección

Para que el proceso de selección de cajas comience la plataforma del elevador debe de estar en la que hemos llamado posición inicial que no es otra que en su parte más baja del elevador donde L0I está activo. Por esta razón el primer diagrama llevado a cabo realizara esta función. A continuación estaremos en condiciones de desarrollar todos los demás.

Los GRAFCET que vamos a implementar son los siguientes:

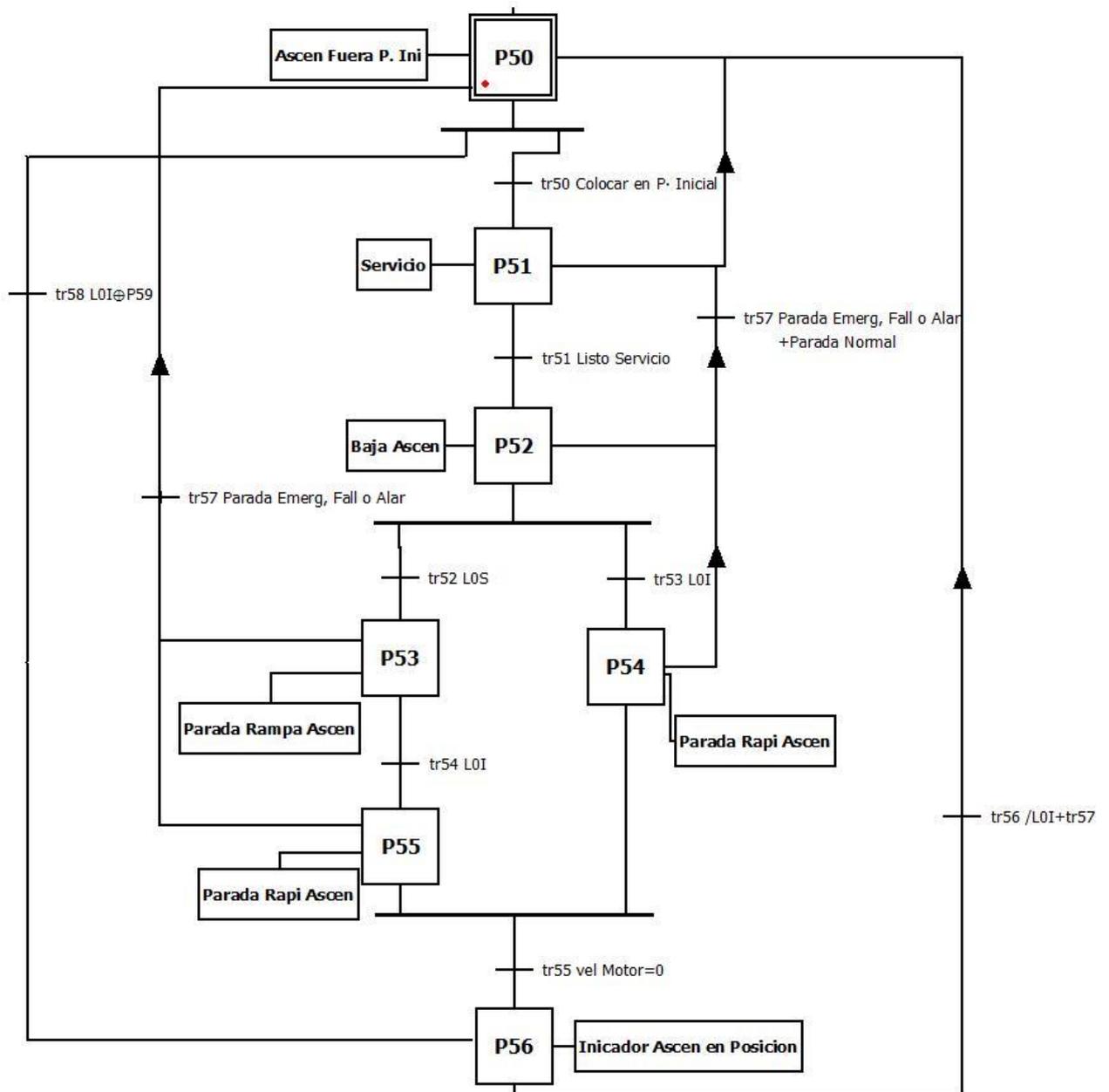
- Posición Inicial Elevador
- Proceso Principal en Proceso de Selección
- Alarmas en Proceso de Selección
- Fallos en Proceso de Selección
- Contadores en Proceso de Selección

**NOTA:** Recordamos que las transiciones y en algún caso las etapas de los GRAFCET solo están representadas las condiciones y acciones más significativas por lo que para conocer de forma completa la programación debemos ir al anexo Desarrollo del Proyecto en TIA PORTAL.

## GRAFSET Posición Inicial Elevador

Como ya hemos visto este diagrama tiene la función de colocar la plataforma del elevador en su posición inicial. Al arrancar el PLC vemos como por defecto se considera que el elevador esta fuera de su posición inicial. Si la transición tr58 se cumpliese el GRAFCET saltaría a su etapa final, la cual nos indica que el elevador si se encuentra en posición inicial. Si esto no fuese así el operador debería de pulsar en su interfaz gráfico el pulsador de Posición Inicial para que comenzase el proceso. Como podemos el GRAFCET tiene una bifurcación en la etapa P52 debido a la posibilidad de que la plataforma se encuentra entre los dos sensores Cabe resaltar que este proceso estará ligado al diagrama de alarmas y fallos donde volverá a su estado inicial si se produjese alguna interrupción debido a esos diagramas.

El GRAFCET de este proceso es el siguiente:

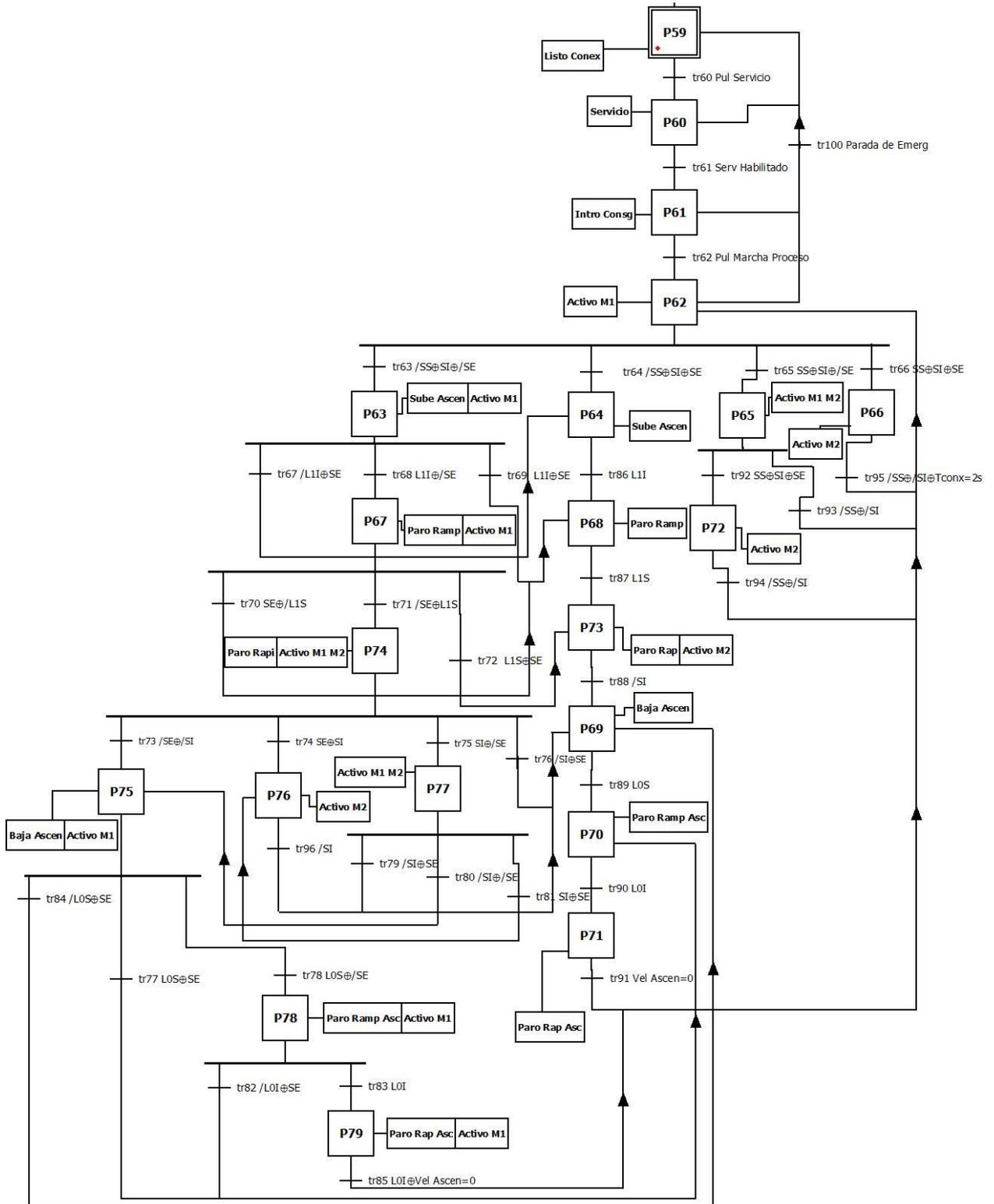


## GRAFSET Proceso Principal en Proceso de Selección

Este diagrama representa el proceso principal de automatización de un sistema de selección de dos tamaños de cajas diferentes de una forma continua. Como parte más importante contamos con un elevador el cual vamos a controlar con un variador de frecuencia como ya sabemos. Este proceso tiene una etapa de inicio donde comenzara al iniciar el PLC. Cada etapa tiene asociada una o varias acciones que se intuyen por el título que contienen, donde por ejemplo mediante el HMI en P61 introducimos la consigna de velocidad al variador de frecuencia. Cada etapa tiene una o varias transiciones que la inactivan, activando la siguiente, donde también cabe la posibilidad de que el proceso se interrumpa volviendo al inicio por algún tipo de Fallo o Alarma. Cabe destacar que este diagrama está relacionado con todos los demás ya que es el principal.

**NOTA:** Como dato importante referido a las interrupciones de Alarmas y Fallos en el GRAFCET no se han representado todas las transiciones desde cada etapa a la inicial cuando se cumple la transición tr100 para evitar que fuese muy difícil de entender por el lector, solo está representado en las tres primera etapas P60, P61, P62. Para ver la programación completa de este diagrama podemos ver el anexo Desarrollo del proyecto en TIA PORTAL.

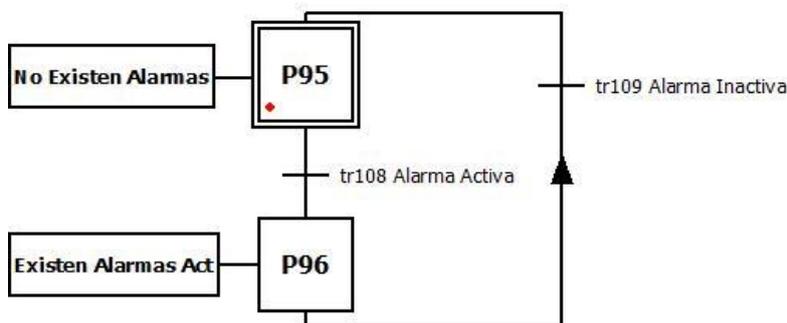
El GRAFCET para el proceso principal es el siguiente:



## GRAFSET Alarmas en Proceso de Selección

Este diagrama representa el proceso de automatización de Alarmas, donde se detectan las posibles alarmas que puedan suceder tanto por detección del variador, irregularidades en los detectores activos en cada instante como en Paros de Emergencia del operador de planta o empleados en la zona de planta. Como vemos consta de dos etapas, donde se pone de manifiesto si existen o no Alarmas. Este diagrama está relacionado con el diagrama principal del proceso ya que si la etapa P95 “No Existen Alarmas” no está activa el proceso principal se interrumpirá volviendo a su estado inicial “P59”. Con la programación realizada el operador podrá visualizar en su interfaz gráfico HMI la existencia o no de Alarmas.

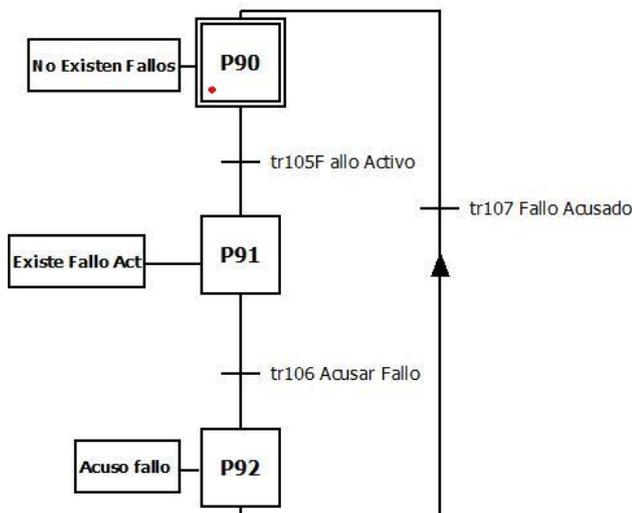
El GRAFCET para el proceso de Alarmas es el siguiente:



## GRAFSET Fallos en Proceso de Selección

Este diagrama representa el proceso de automatización de Fallos, donde se detectan los posibles fallos procedentes del variador de frecuencia, como ejemplo de fallo seria la perdida de comunicación con el PLC. Como vemos tiene tres etapas donde como en el diagrama de Alarmas está relacionado con el diagrama principal de procesos para que si existe algún tipo de fallo este se interrumpa y vuela al estado inicial “P59”. A diferencia del GRAFCET de Alarmas los Fallos del variador de frecuencia hay que acusarlos obligatoriamente. Esto se podrá realizar mediante un pulsador en la interfaz gráfica HMI, como también cabe destacar cuando existan Fallos o no, el Operador podrá visualizarlo en su interfaz gráfica.

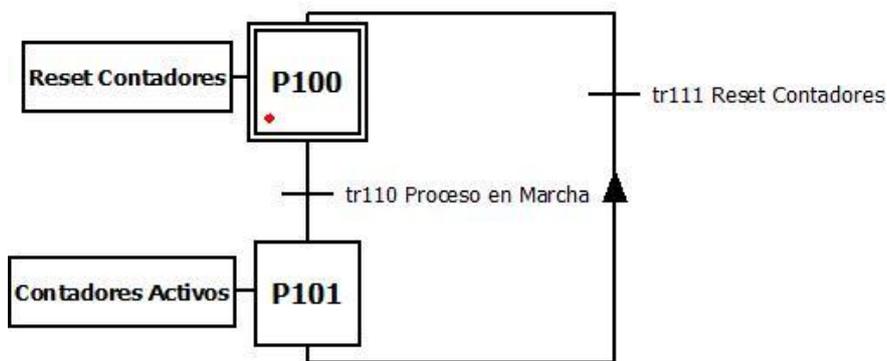
El GRAFCET para el proceso de Fallos es el siguiente:



## GRAFSET Contadores en Proceso de Selección

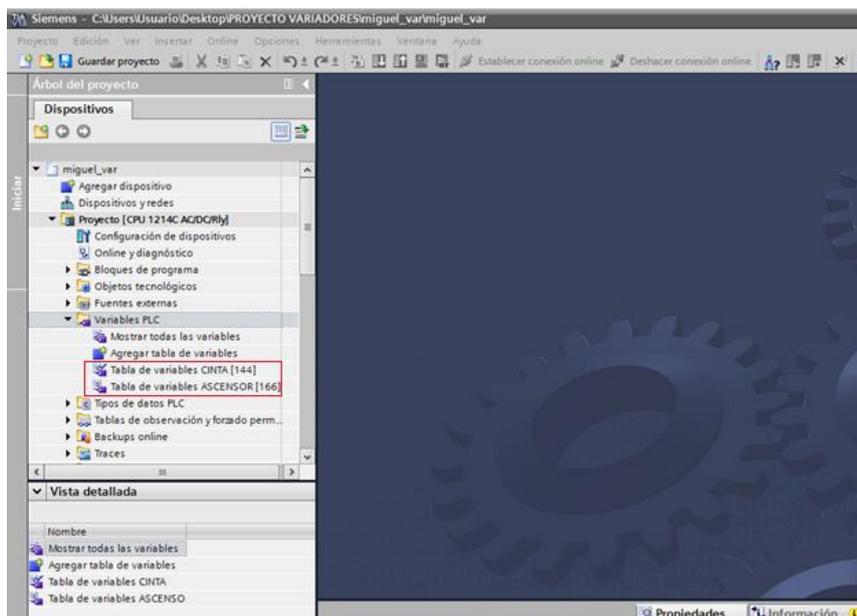
Este diagrama representa el proceso de automatización del contaje de cajas de mayor y menor tamaño cuando el proceso principal se inicia. Como vemos tiene dos etapas, al iniciar el RunTime en el PLC activa la etapa "P100" la cual hace un Reset en los contadores. Para que se inactive la etapa inicial y se active la etapa P101 el proceso debe ponerse en marcha, por lo que como vemos está relacionado con el proceso principal como dijimos. Los operadores que tengan acceso a la interfaz gráfica de este proceso de selección contarán con un pulsador de Reset el cual permitirá resetear estos en cualquier etapa del proceso principal.

El GRAFCET para el proceso de Contadores es el siguiente:

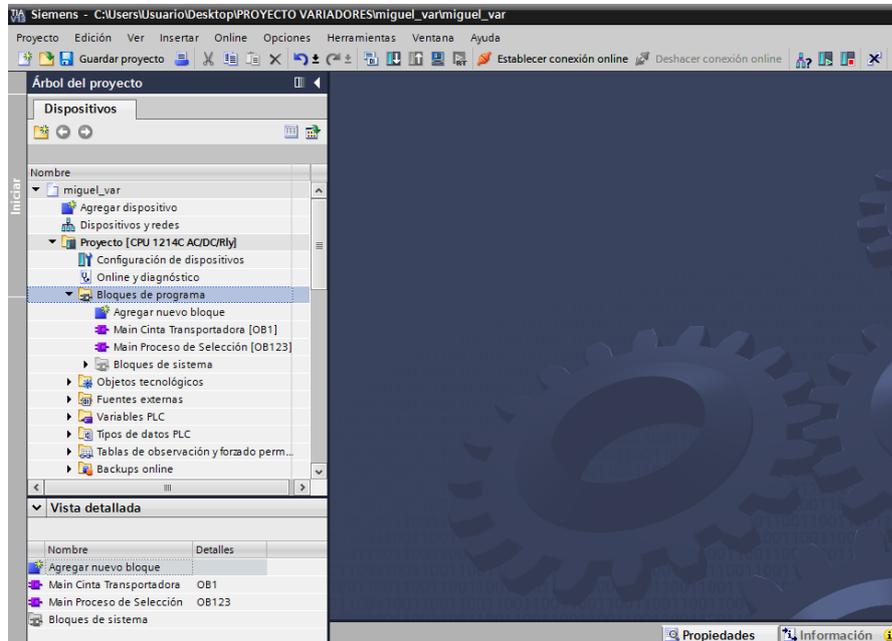


### 7.4.2 Detalles de la programación en TIA PORTAL

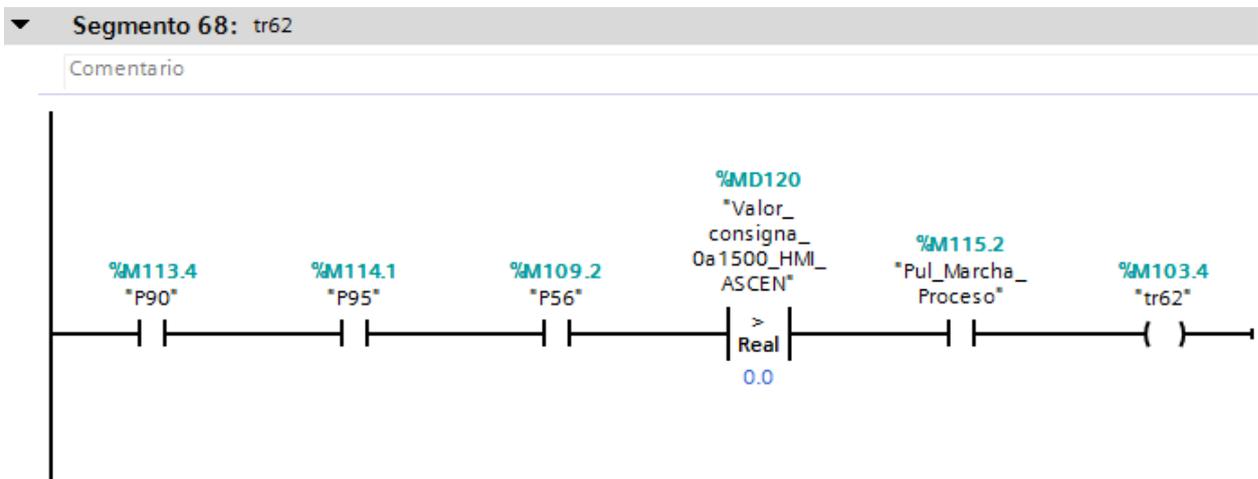
Una vez realizados todos los GRAFCET del proceso el siguiente paso es introducir todas las variables que intervienen en todos ellos: entradas, salidas, transiciones, etapas etc. Como ya dijimos en apartados anteriores esto se ha realizado en una tabla de variables distinta a la del ejemplo de la cinta transportadora para tener mayor claridad. Aquí podemos identificar cada una:



A continuación estamos en disposición de programar los tres conjuntos de segmentos necesarios para la completa transcripción de los GRAFCET a lenguaje de contactos "KOP", que si recordamos eran: Solución de alto nivel, lógica de variables internas y etapas activación de acciones. Para ubicar todos estos segmentos se ha decidido utilizar el bloque de programa de ciclo en los dos ejemplos ya que se ejecuta cíclicamente en la CPU. Aquí podemos identificar cada uno de ellos:

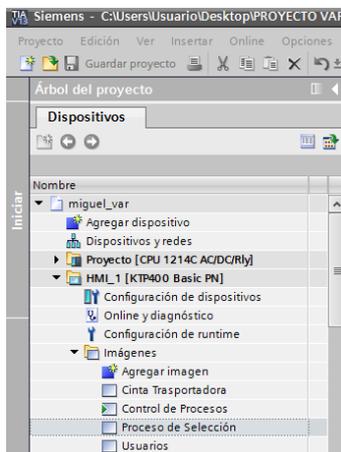


Para visualizar toda la programación llevada a cabo debemos de ir al anexo Desarrollo del Proyecto en TIA PORTAL. Para demostrar por ejemplo la relación que existe entre el Proceso principal y el Proceso Posición Inicial, el de Alarmas y el proceso de Fallos nos fijaremos en el segmento 68. Para que la transición tr62 se active todas las condiciones anteriores deben de ser verdaderas entre ellas la etapa P90, P95, 56 que sucesivamente corresponden a no existen Fallos, no existen alarmas y a que el ascensor se encuentra en posición inicial. Si esto se cumple y la consigna de velocidad es mayor que cero y el operador pulsa el pulsador marcha de proceso tr62 se activara.



## Programación en Pantalla KTP 400 (HMI)

Para programar la Imagen que contendrá este ejemplo práctico una vez introducidas tanto las variables necesarias como los tres conjuntos de programación iremos al TIA PORTAL y en la pestaña de nuestra HMI buscaremos la Imagen que corresponde en este caso Proceso de Selección.



Una vez en esta Imagen procederemos por ejemplo a colocar los elementos necesarios para el control de todos los procesos:

- Posición Inicial
- Servicio
- Marcha Proceso
- Paro Proceso
- Acusar Fallo
- Para Emergencia
- Reset

**NOTA:** La forma de programar los botones ya se explicó en el apartado: (7.3.2 Detalles de la programación en TIA PORTAL.)

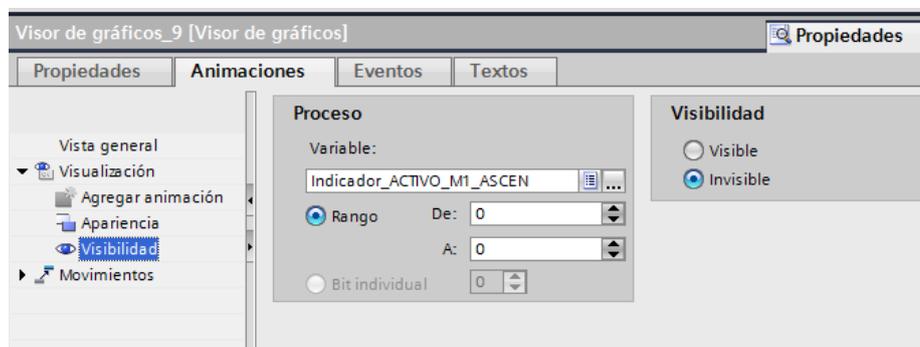
Para que el operador tenga una mejor comprensión de lo que está sucediendo en el proceso en un instante determinado se ha decidido representar de una forma gráfica los elementos más esenciales del proceso, como por ejemplo la disposición de los sensores y motores existentes.



Los gráficos que se han programado son los siguientes:

- Motor Elevador
- Motor Cinta de Entrada M1
- Motor Cinta de Elevador M2
- Flechas indicadoras de sentido
- Acelera o Frena el Motor del Elevador

Para programar los gráficos de los motores por ejemplo del motor (M1) se han utilizado dos imágenes para representar los dos estados que tiene (activo e inactivo). Para representar el estado activo se ha optado por un gráfico en color verde del motor y se ha programado para que cuando este esté inactivo este grafico sea transparente. Procedemos de la forma siguiente: herramientas>>Gráficos>>Unified and modular>> Motors>> Seleccionamos el grafico del motorverde>>Animaciones>>visibilidad>> variable: Indicador\_Motor1\_Ascen>> rango de 0 a 0 invisible:

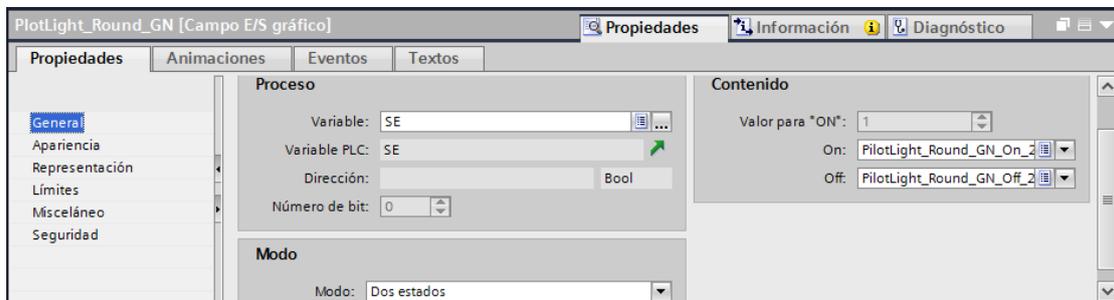


Para el estado de inactivo solo se ha seleccionado el grafico del motor en color gris y se ha solapado con el grafico del estado activo color verde. Así cuando el motor este activo el grafico color verde estará por encima del grafico color gris.

Los indicadores programados son los siguientes:

- Listo Conexión
- Elevador en Posición inicial
- Listo Servicio
- Marcha Proceso
- Sensor SE (Sensor de Entrada )
- Sensor SS (Sensor Superior)
- Sensor SI (Sensor Inferior)
- Sensor L1S (Línea 1 Superior)
- Sensor L1I (Línea 1 Inferior)
- Sensor L0S (Línea 0 Superior)
- Sensor L0I (Línea 0 Inferior)

Para programar los sensores se ha escogido un indicador PlotLight que ya se explicó en el apartado (7.3.2 Detalles de la programación en TIA PORTAL.) para el indicador Listo conexión. Aquí vemos el ejemplo del sensor de entrada:

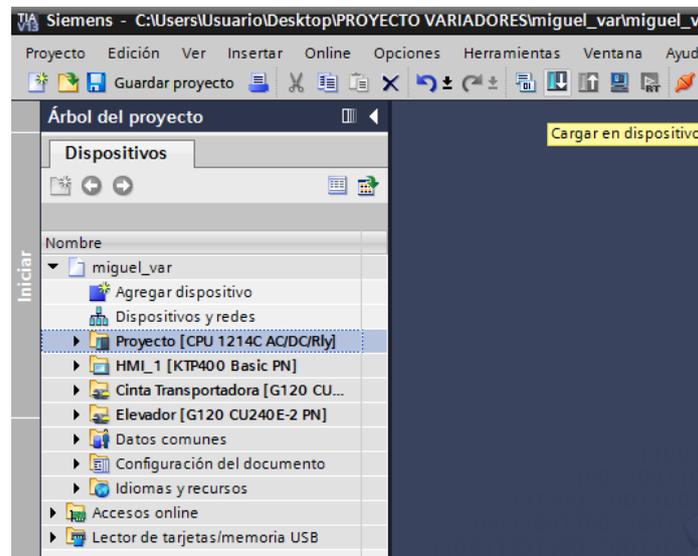


Tenemos también dos campos de salida para los dos contadores y un campo de entrada para la velocidad del motor del Elevador que ya se explicó como programarlos en el apartado (7.3.2 Detalles de la programación en TIA PORTAL.)

## 8 Experimentación y carga del programa en los dispositivos

Una vez concluida la sexta fase que si recordamos es la del desarrollo de la programación estaremos listos para pasar a la séptima y octava, en las cuales se debe de cargar el programa en TIA PORTAL en cada dispositivo, y realizar una verificación de todas las funciones que contienen nuestros dos ejemplos de automatización para si fuese necesario depurar el programa.

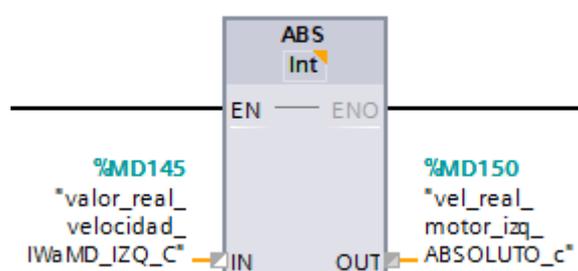
Para cargar la programación de cada dispositivo haremos clic en él y a continuación haremos clic en el símbolo “cargar en dispositivo”:



Una vez en la ventana de carga avanzada ajustaremos el tipo de interfaz PG/PC, interfaz PG/PC, conexión con interfaz/subred e iniciaremos la búsqueda de dispositivos compatibles para por ultimo hacer clic en cargar en el que estemos cargando en ese instante.

Para comenzar con las pruebas de los dos ejemplos prácticos comprobamos que en el interfaz gráfico podemos cambiar de imagen dependiendo del operador activo. En esta programación no tuvimos ningún problema.

Introducimos por ejemplo el operador de la cinta transportadora para verificar las funciones de esta automatización. Verificamos que la luminosidad de los indicadores sea la correcta y pasamos a introducir los diámetros de los tres engranajes conectados al motor. Una vez realizado esto sin problemas pulsamos el pulsador “Servicio” y comprobamos que efectivamente el módulo de potencia del variador se pone en marcha. A continuación el siguiente paso sería pulsar el sentido de Giro de nuestro motor e introducir la consigna de velocidad. Para el giro a izquierdas tuvimos un problema con los campos de salida de velocidad ya que el variador ofrece en este caso una velocidad negativa en formato Complemento a 1, por este motivo tuvimos que introducir un módulo de valor absoluto:



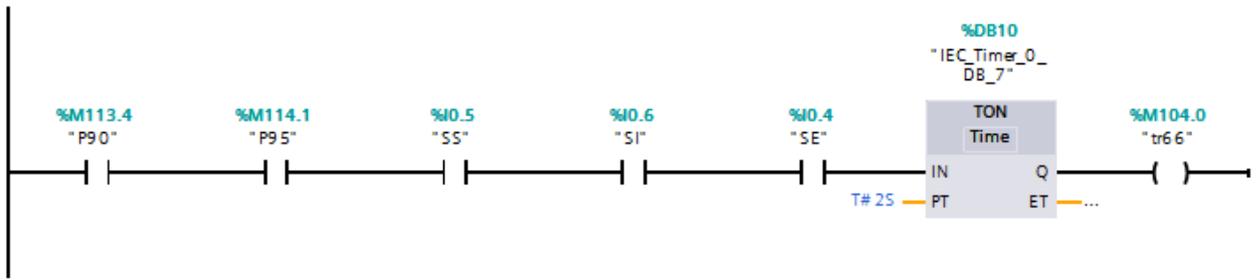
Comprobado que el motor gira de acuerdo a su velocidad de consigna en sus dos sentidos comprobamos que podemos variarla de forma continua como se especificaba en las funciones. Esto no supuso ningún problema.

Lo siguiente fue comprobar que en sus dos sentidos de giro podemos realizar una parada de Emergencia, una parada rápida o rampa según el pulsador que se pulse en la pantalla táctil, donde el variador respondió correctamente a estos impulsos.

Por ultimo comprobamos que cuando se produce un fallo por ejemplo se pierde la comunicación con el variador la interfaz gráfica lo reflejaba correctamente y al recuperarla el pulsador acusar fallo elimina este fallo del variador.

Para el ejemplo del Proceso de Selección comenzamos comprobando todos los indicadores del interfaz gráfico HMI, para que todos los sensores como demás indicadores tengan una luminosidad correcta de acuerdo a su estado.

Comprobando las secuencias de los procesos: colocar el elevador en posición inicial y el proceso principal de selección encontramos un problema en las instrucciones donde aparecen los sensores SS (Sensor Superior) y SI (Sensor Inferior). El problema surge con el tiempo de ejecución de nuestra CPU y la exactitud con la que se activan y desactivan estos detectores. Nuestra CPU 1214C AC/DC tiene un tiempo de ejecución de 0.085  $\mu$ s por lo que si no se activan en ese margen de tiempo podría recorrer un camino de la secuencia erróneo. Para solucionar este problema en las transiciones donde aparecen estos detectores se ha colocado un temporizador con retardo a la conexión de 2 segundos el cual retardara el tiempo de activación de la transición para así comprobar si es cierta esa condición. Aquí vemos por ejemplo en el segmento 72 como esta implementado:



Después de introducir estos temporizadores y de resolver algún fallo en la transcripción de los GRAFCET al pulsar el “Pulsador Posición Inicial” pudimos comprobar que el proceso de colocar el elevador en su posición inicial realizaba su función correctamente.

Mediante el Pulsador “Servicio” comprobamos que el variador pone en marcha su etapa de potencia y a continuación pulsando “Marcha Proceso” se pone en marcha el proceso principal donde comprobamos que tanto sus gráficos programados como las secuencias a seguir dependiendo del estado de las transiciones son correctas. Comprobamos también el proceso de los contadores realizase su función correctamente mostrándose las unidades de las dos diferentes tamaños de cajas en la interfaz gráfico, así como el pulsador de Reset los iniciara a cero.

Por ultimo como en el ejemplo anterior comprobamos que los procesos de alarmas y fallos interrumpen el proceso principal cuando exista alguno de estos eventos (Fallos, Paro Emergencia u otras alarmas) y que esto se visualice de forma correcta en la pantalla HMI.

Con todas las funciones de los dos ejemplos prácticos comprobado su funcionamiento podemos concluir este proyecto de forma práctica. Como ya hemos indicado en alguna NOTA anterior toda la programación de forma detallada se encuentra en el anexo Desarrollo del Programa en TIA PORTAL.

## 9 Conclusiones y Resultados

Con la consecución de este proyecto se han desarrollado distintas capacidades que sobrepasan las funciones que realizan los dos ejemplos prácticos desarrollados. Cuando te planteas resolver un problema o una tarea debes conocer muy bien cuál es el objetivo final y que conocimientos vas a necesitar adquirir para llegar hasta esta. Saber sintetizar el objetivo final en pequeños metas sin duda es una forma muy eficaz de trabajar, y es la forma la cual he trabajado en este proyecto.

Gracias a este proyecto de una forma más práctica hemos podido interiorizar aspectos relacionados con asignaturas como, informática para la automatización industrial, programación con PLC, Automatización Industrial u otras como proyectos de Ingeniería o Electrotecnia.

Para poder realizar las funciones requeridas en nuestros dos ejemplos hemos tenido que estudiar y conocer el funcionamiento de los dispositivos a instalar. Esto supuso el aprendizaje de forma autodidacta por medio de sus manuales. Estos por lo general son muy amplios por lo que tuve que extraer y sintetizar la información más relevante para mis intereses.

En especial los variadores de frecuencia son dispositivos muy complejos ya que tienen infinidad de comandos a programar y varias formas de hacerlo. Después de realizar toda la configuración necesaria desde el software TIA PORTAL debíamos proceder a cargar está en el dispositivo. Para hacerlo debía de establecerse una comunicación entre este software y el variador. Este ha sido el principal problema que hemos tenido en este proyecto, no por su complejidad sino porque el manual no especificaba de una forma clara que la primera carga debía de hacerse mediante comunicación USB. Esto supuso un retraso ya que los esfuerzos a partir de ahí se centraron en solucionarlo.

Con el estudio del software TIA PORTAL me he dado cuenta que es una herramienta muy potente de programación ya que te permite de una manera intuitiva configurar los dispositivos necesarios en tu proyecto, programar tus GRAFCET e implementar la visualización y el control de todo el sistema mediante una interfaz gráfica HMI como es una pantalla táctil. También incluye una manera muy eficaz de encontrar los posibles fallos de programación, ya que haciendo clic en el elemento que deseamos ya sea entrada, salida, marca etc y yendo a herramientas, referencias cruzadas, podemos ver en que bloque se está utilizando ese elemento, el segmento o los segmentos donde aparece y el acceso que se tiene a él, ya sea escritura o lectura. De esta forma por ejemplo podemos ver si es una bobina podemos ver si se está escribiendo en diferentes segmentos en ella lo que en algunos casos podría conllevar errores en la secuencia del proceso.

Con todo esto podemos resumir que con este proyecto hemos alcanzado competencias tales como:

- Sintetizar Objetivos
- Sintetizar Información
- Capacidad de solucionar problemas
- Aplicar conceptos de otros cursos
- Aprender de forma Autónoma

Como posible mejora de este proyecto se podría realizar la comunicación de los variadores de frecuencia con el autómatas programable a través de otros Telegramas de comunicación como el "Telegrama 352" que se usa para acceder a los diferentes parámetros del variador de una forma acíclica. Este telegrama nos daría por ejemplo datos de que fallo o alarma se ha producido concretamente. También podríamos implementar en estos variadores funciones de seguridad integrada ya que esto es algo muy útil en la práctica.

Para concluir este proyecto y por ende la obtención del título de Electrónica Industrial y Automática ha sido un reto para mí y a la vez un placer poder haber aprendido tanto en estos años, que han sido duros pero muy importantes desde el punto de vista de mi formación académica y personal.

## 10 Bibliografía

### Libros:

- Sistemas SCADA (2ª Edición). Rodríguez Penin Aquilino. Editorial: Marcombo.
- Máquinas eléctricas. Sanz Feito, Javier. Editorial: Pearson Education.
- STEP 7 Una manera fácil de programar PLC de Siemens. Mengual Pilar. Editorial: Marcombo formación.
- Electrotecnia. Libro perteneciente a apuntes de la asignatura.
- RSM. Reglamentación de seguridad en las máquinas. Colección leyes, normas y reglamentos

### Manuales:

- S71200-MANUAL DEL SISTEMA
- HMI Basic Panels Operating Instructions
- G120\_CU240BE2\_op\_instr\_0117
- Datos técnicos 1200

### Proyecto ejemplo Siemens:

- 70155469\_sinamics\_g120\_pn\_at\_s7-1200\_docu\_v1d3\_en
- Automatización de Fertirrigación. Trabajo final de asignatura Programación de Autómatas programables

### Programas:

- TIA PORTAL. Siemens
  - SINAMICS STEP 7
  - WinCC
  - StarDrive
- Ganttproyect
- AutoCAD
- DIA. GRAFCET
- SmartDraw



## 11 Anexos

### 11.1 Hojas de Datos

#### Palabra de mando

| Bit  | Significado                  |                     | Explicación  | Interconexión de señales en el convertidor |
|------|------------------------------|---------------------|--|--|
|      | Telegrama 1                  | Resto de telegramas |  |  |
| 0    | 0 = DES1                     | Q257.0              | El motor frena con el tiempo de deceleración p1121 del generador de rampa. El convertidor desconecta el motor durante la parada. | p0840[0] = r2090.0                         |
|      | 0 → 1 = CON                  |                     | El convertidor pasa al estado "Listo para el servicio". Si además el bit 3 = 1, el convertidor conecta el motor.                 |  |
| 1    | 0 = DES2                     |                     | Desconectar inmediatamente el motor; a continuación se produce parada natural.   | p0844[0] = r2090.1                         |
|      | 1 = Sin DES2                 |                     | Se puede conectar el motor (orden CON).  |  |
| 2    | 0 = Parada rápida (DES3)     |                     | Parada rápida: el motor frena hasta la parada con el tiempo de deceleración DES3 p1135.  | p0848[0] = r2090.2                         |
|      | 1 = Sin parada rápida (DES3) |                     | Se puede conectar el motor (orden CON).  |  |
| 3    | 0 = Bloquear servicio        |                     | Desconectar inmediatamente el motor (suprimir impulsos).   | p0852[0] = r2090.3                         |
|      | 1 = Habilitar servicio       |                     | Conectar el motor (habilitación de impulsos posible).  |  |
| 4    | 0 = Bloquear GdR             |                     | El convertidor ajusta inmediatamente a 0 su salida del generador de rampa.   | p1140[0] = r2090.4                         |
|      | 1 = No bloquear GdR          |                     | Es posible la habilitación del generador de rampa.   |  |
| 5    | 0 = Detener GdR              |                     | La salida del generador de rampa permanece en el valor actual.   | p1141[0] = r2090.5                         |
|      | 1 = Habilitar GdR            |                     | La salida del generador de rampa sigue a la consigna.  |  |
| 6    | 0 = Bloquear consigna        |                     | El convertidor frena el motor con el tiempo de deceleración p1121 del generador de rampa.  | p1142[0] = r2090.6                         |
|      | 1 = Habilitar consigna       |                     | El motor acelera con el tiempo de aceleración p1120 hasta alcanzar la consigna.  |  |
| 7    | 0 → 1 = Confirmar fallos     | Q257.7              | Confirmar el fallo. Si todavía está presente la orden ON, el convertidor conmuta al estado "Bloqueo conexión".                   | p2103[0] = r2090.7                         |
| 8, 9 | Reservado Q256.0             |                     |  |  |
| 10   | 0 = Ningún mando por PLC     |                     | El convertidor ignora los datos de proceso del bus de campo.   | p0854[0] = r2090.10                        |
|      | 1 = Mando por PLC            |                     | Mando a través del bus de campo; el convertidor adopta los datos de proceso desde el bus de campo.                               |  |
| 11   | 1 = Inversión de sentido     |                     | Invertir la consigna en el convertidor.  | p1113[0] = r2090.11                        |
| 12   | No utilizado                 |                     |  |  |
| 13   | ---                          | 1 = Subir PMot      | Aumentar la consigna almacenada en el potenciómetro motorizado.  | p1035[0] = r2090.13                        |
| 14   | ---                          | 1 = Bajar PMot      | Reducir la consigna almacenada en el potenciómetro motorizado.   | p1036[0] = r2090.14                        |
| 15   | CDS bit 0                    | Reservado Q256.7    | Conmutación entre ajustes para distintas interfaces de manejo (juegos de datos de mando).  | p0810 = r2090.15                           |

## Palabra de Estado

| Bit | Significado  |   | Observaciones  | Interconexión de señales en el convertidor |
|-----|--|---|--|--|
|     | Telegrama 1  | Resto de telegramas                       |  |  |
| 0   | 1 = Listo para conexión                                    | I257.0                                    | La alimentación está conectada, la electrónica inicializada y los impulsos bloqueados.   | p2080[0] = r0899.0                         |
| 1   | 1 = Listo para servicio                                    |   | El motor está conectado (CON/DES1 = 1); ningún fallo está activo. Con la orden "Habilitar servicio" (STW1.3), el convertidor conecta el motor. | p2080[1] = r0899.1                         |
| 2   | 1 = Servicio habilitado                                    |   | El motor sigue la consigna. Ver la palabra de mando 1, bit 3.  | p2080[2] = r0899.2                         |
| 3   | 1 = Fallo activo   |   | Existe un fallo en el convertidor. Confirmar fallo mediante STW1.7.  | p2080[3] = r2139.3                         |
| 4   | 1 = DES2 inactiva  |   | La parada natural no está activada.  | p2080[4] = r0899.4                         |
| 5   | 1 = DES3 inactiva  |   | La parada rápida no está activada.   | p2080[5] = r0899.5                         |
| 6   | 1 = Bloqueo de conexión activo                             |   | La conexión del motor es posible tras DES1 y CON.  | p2080[6] = r0899.6                         |
| 7   | 1 = Alarma activa  | I257.7                                    | El motor permanece conectado; no se requiere confirmación.   | p2080[7] = r2139.7                         |
| 8   | 1 = Divergencia de la velocidad en el margen de tolerancia | I226.0                                    | Divergencia consigna-valor real en el margen de tolerancia.  | p2080[8] = r2197.7                         |
| 9   | 1 = Mando solicitado                                       |   | Se solicita al sistema de automatización que asuma el mando del convertidor.   | p2080[9] = r0899.9                         |
| 10  | 1 = Velocidad de referencia alcanzada o superada           |   | La velocidad es mayor o igual a la velocidad máxima correspondiente.   | p2080[10] = r2199.1                        |
| 11  | 1 = límite de intensidad o de par alcanzado                | 1 = límite de par alcanzado               | Se ha alcanzado o superado el valor de comparación para la intensidad o el par.  | p2080[11] = r0056.13 / r1407.7             |
| 12  | — <sup>9)</sup>  | 1 = Freno de mantenimiento abierto        | Señal para la apertura o cierre de un freno de mantenimiento del motor.  | p2080[12] = r0899.12                       |
| 13  | 0 = Alarma Exceso de temperatura Motor                     |   | --   | p2080[13] = r2135.14                       |
| 14  | 1 = Motor gira a derecha                                   |   | Valor real interno del convertidor > 0.  | p2080[14] = r2197.3                        |
|     | 0 = Motor gira a izquierda                                 |   | Valor real interno del convertidor < 0.  |  |
| 15  | 1 = Indicación CDS<br>I256.7                               | 0 = Alarma Sobrecarga térmica Convertidor |  | p2080[15] = r0836.0 / r2135.15             |

## Bloques de programa

### Bloque de organización (OB)

Los bloques de organización permiten estructurar el programa. Estos bloques sirven de interfaz entre el sistema operativo y el programa de usuario. Los OBs son controlados por eventos. Un evento, p. ej. una alarma de diagnóstico o un intervalo, hace que la CPU ejecute un OB. Algunos OBs tienen eventos de arranque y comportamiento en arranque predefinidos.

El OB de ciclo contiene el programa principal. Es posible incluir más de un OB de ciclo en el programa de usuario. En estado operativo RUN, los OBs de ciclo se ejecutan en el nivel de prioridad más bajo y pueden ser interrumpidos por todos los demás tipos de procesamiento del programa. El OB de arranque no interrumpe el OB de ciclo, puesto que la CPU ejecuta el OB de arranque antes de pasar al estado operativo RUN.

Tras finalizar el procesamiento de los OBs de ciclo, la CPU vuelve a ejecutarlos inmediatamente. Esta ejecución cíclica es el tipo de procesamiento "normal" que se utiliza para los controladores lógicos programables. En numerosas aplicaciones, el programa de usuario entero está contenido en un solo OB de ciclo.

Es posible crear otros OBs para ejecutar funciones específicas, tales como tareas de arranque, procesamiento de alarmas y tratamiento de errores, o ejecución de un código de programa específico en determinados intervalos. Estos OBs interrumpen la ejecución de los OBs de ciclo.

Utilice el diálogo "Agregar nuevo bloque" para crear OBs nuevos en el programa de usuario.

En función de su nivel de prioridad, un OB puede interrumpir a otro OB. Las alarmas se procesan siempre de forma controlada por eventos. Cuando ocurre un evento, la CPU interrumpe la ejecución del programa de usuario y llama el OB configurado para procesar ese evento. Una vez finalizada la ejecución del OB de alarma, la CPU reanuda la ejecución del programa de usuario en el punto de interrupción.

La CPU determina el orden de procesamiento de eventos de alarma según la prioridad asignada a cada OB. Todo evento tiene una prioridad de procesamiento propia. Varios eventos de alarma pueden combinarse en clases de prioridad.

Es posible crear varios OBs para el programa de usuario, incluso para las clases de OB correspondientes a los OBs de ciclo y de arranque. Utilice el diálogo "Agregar nuevo bloque" para crear un OB. Introduzca el nombre del OB y un número de OB mayor que 200.

### Función (FC)

Una función (FC) es un bloque lógico que, por lo general, realiza una operación específica en un conjunto de valores de entrada. La FC almacena los resultados de esta operación en posiciones de memoria.

Las FCs se utilizan para realizar las tareas siguientes:

- Para ejecutar operaciones estándar y reutilizables, p. ej. en cálculos matemáticos.
- Para ejecutar funciones tecnológicas, p. ej. controles individuales con operaciones lógicas binarias.

Una FC también se puede llamar varias veces en diferentes puntos de un programa. Esto facilita la programación de tareas que se repiten con frecuencia.

Una FC no tiene ningún bloque de datos instancia asociado (DB). La FC usa la pila de datos locales para los datos temporales utilizados para calcular la operación. Los datos temporales no se

almacenan. Para almacenar los datos de forma permanente es preciso asignar el valor de salida a una posición de memoria global, p. ej. el área de marcas o un DB global.

### **Bloque de función (FB)**

Un bloque de función (FB) es un bloque lógico que utiliza un bloque de datos instancia para sus parámetros y datos estáticos. Los FBs tienen una memoria variable ubicada en un bloque de datos (DB) o DB "instancia". El DB instancia ofrece un bloque de memoria asociado a esa instancia (o llamada) del FB y almacena datos una vez que haya finalizado el FB. Es posible asociar distintos DBs de instancia a diferentes llamadas del FB. Los DBs instancia permiten utilizar un FB genérico para controlar varios dispositivos. El programa se estructura de manera que un bloque lógico llame un FB y un DB instancia. La CPU ejecuta luego el código del programa en ese FB y almacena los parámetros del bloque y los datos locales estáticos en el DB instancia. Cuando finaliza la ejecución del FB, la CPU regresa al bloque lógico que ha llamado el FB. El DB instancia conserva los valores de esa instancia del FB. Estos valores están disponibles para las llamadas posteriores al bloque de función, bien sea en el mismo ciclo o en otros ciclos.

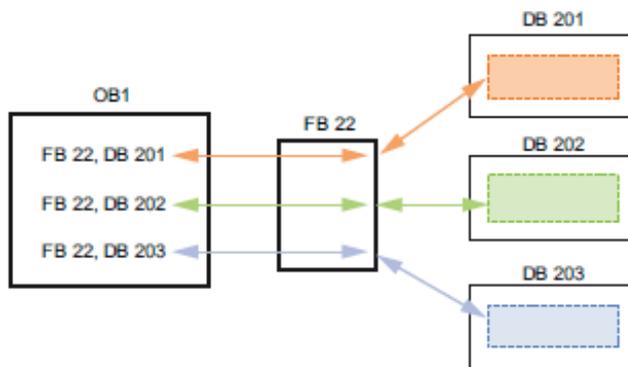
Por lo general, los FBs se utilizan para controlar tareas o dispositivos cuya operación no finaliza dentro de un ciclo. Para almacenar los parámetros operativos de manera que sea posible acceder rápidamente a ellos de un ciclo a otro, todo FB del programa de usuario tiene uno o más DBs instancia. Cuando se llama un FB, se especifica también un DB instancia que contiene los parámetros del bloque y los datos locales estáticos de esa llamada o "instancia" del FB. El DB instancia conserva estos valores una vez finalizada la ejecución del FB. Si el FB se diseña para realizar tareas de control genéricas, es posible reutilizarlo para varios dispositivos, seleccionando diferentes DB instancia para las distintas llamadas del FB.

Un FB almacena los parámetros de entrada (IN), salida (OUT) y entrada/salida (IN\_OUT) en un DB instancia.

Si no se asignan valores a los parámetros de entrada, salida o entrada/salida de un bloque de función (FB), se utilizan los valores almacenados en el bloque de datos (DB) instancia. En algunos casos es necesario asignar parámetros. Los valores iniciales se asignan a los parámetros en la interfaz del FB. Estos valores se transfieren al DB instancia asociado. Si no se asignan parámetros, se utilizan los valores almacenados actualmente en el DB instancia.

### Utilizar un solo FB con DBs

La figura siguiente muestra un OB que llama un FB tres veces, utilizando un bloque de datos diferente para cada llamada. Esta estructura permite que un FB genérico controle varios dispositivos similares (p. ej. motores), asignando un bloque de datos instancia diferente a cada llamada de los distintos dispositivos. Cada DB instancia almacena los datos (p. ej. velocidad, tiempo de aceleración y tiempo de operación total) de un dispositivo en particular. En este ejemplo, el FB 22 controla tres dispositivos diferentes. El DB 201 almacena los datos operativos del primer dispositivo, el DB 202, los del segundo y, el DB 203, los del tercero.



### Bloque de datos (DB)

Los bloques de datos (DB) se crean en el programa de usuario para almacenar los datos de los bloques lógicos. Todos los bloques del programa de usuario pueden acceder a los datos en un DB global. En cambio, un DB instancia almacena los datos de un bloque de función (FB) específico. Un DB se puede definir de manera que sea de sólo lectura. Los datos almacenados en un DB no se borran cuando finaliza la ejecución del bloque lógico asociado. Hay dos tipos de DBs, a saber:

- Un DB global almacena los datos de los bloques lógicos en el programa. Cualquier OB, FB o FC puede acceder a los datos en un DB global.
- Un DB instancia almacena los datos de un FB específico. La estructura de los datos en un DB instancia refleja los parámetros (Input, Output e InOut) y los datos estáticos del FB. (La memoria temporal del FB no se almacena en el DB instancia.)



## 11.2 Desarrollo del proyecto en TIA PORTAL.

Este Anexo está resuelto en un libro distinto al de esta memoria