



Escuela  
Universitaria  
Ingeniería  
Técnica  
Industrial  
ZARAGOZA

## PROYECTO FINAL DE CARRERA

### MEMORIA

# *Automatización de la cúpula de un telescopio de un observatorio astrofísico*

#### AUTOR

LÁZARO GUERRERO, JAVIER

#### DIRECTOR

ROMEO TELLO, ANTONIO

#### ESPECIALIDAD

ELECTRÓNICA INDUSTRIAL

#### CONVOCATORIA

Diciembre 2013





# INDICE

<b>1</b>	<b>Objeto y alcance .....</b>	<b>6</b>
1.1	Antecedentes .....	9
1.2	Especificaciones técnicas .....	11
1.3	Alcance .....	13
<b>2</b>	<b>Necesidades de automatización y control: selección de equipos. ....</b>	<b>14</b>
2.1	Movimiento de las ventanas fijas de ventilación .....	14
2.2	Movimiento acimutal .....	16
2.2.1	Selección de la reductora acimutal .....	19
2.2.2	Selección del accionamiento acimutal .....	21
2.2.3	Selección del servodrive acimutal .....	26
2.2.4	Selección del sistema de posicionamiento absoluto acimutal .....	28
2.3	Movimiento de la compuerta rendija .....	30
2.3.1	Selección de las reductoras de cierre y apertura compuerta .....	33
2.3.2	Selección del accionamiento de cierre compuerta .....	37
2.3.3	Selección del servodrive de cierre compuerta .....	41
2.3.4	Selección del accionamiento de apertura compuerta .....	42
2.3.5	Selección del servodrive de apertura compuerta .....	45
2.4	Movimiento del Windshield .....	46
2.4.1	Tambores superiores del Wind Shield: selección del conjunto servo y reductor .....	48
2.4.2	Tambores superiores del Wind Shield: selección del servodrive .....	52
2.4.3	Tambor inferior del Wind Shield: selección del conjunto servo y reductor .....	53
2.4.4	Tambor inferior del Wind Shield: selección del servodrive .....	56
2.4.5	Tambor inferior del Wind Shield: encoder absoluto .....	57
<b>3</b>	<b>Descripción del equipamiento eléctrico y de control .....</b>	<b>60</b>
3.1	Esquema lógico de control .....	60
3.2	Vista global del PLC, control y visualización .....	61



3.3	OX00 Panel de control principal en la parte fija del edificio .....	62
3.4	OX01 Panel de control remoto a bordo de la cúpula .....	67
3.5	PLC: controlador lógico .....	71
3.5.1	CPU .....	71
3.5.2	Tarjetas de entradas y salidas digitales.....	73
3.5.3	Tarjetas de comunicación .....	74
3.5.4	PLC de seguridad .....	76
3.5.5	Sistema de visualización.....	77
3.6	Servo Drive .....	78
3.7	Sistema de carriles electrificados.....	79
3.8	Sistema de bandejas porta cables.....	85
3.9	Sistema de calefacción .....	86
3.10	Sistema de protección pararrayos .....	94
<b>4</b>	<b>Descripción del software de control.....</b>	<b>95</b>
4.1	Software de programación.....	95
4.2	OX00 CPU de control del armario de la parte fija .....	96
4.2.1	Gestión de interconexiones con el telescopio .....	96
4.2.2	Control del movimiento de las 10 ventanas fijas.....	98
4.3	OX01 CPU de control del armario móvil a bordo de la cúpula .....	100
4.3.1	Control del sistema de calefacción .....	100
4.3.2	Control del movimiento acimutal .....	101
4.3.3	Control del movimiento de la compuerta rendija .....	106
4.3.4	Control del movimiento del Wind Shield .....	114
4.4	Control de los ejes NC: librería Sercos .....	119
4.4.1	Librería TcMC2: bloques de función .....	122
4.4.2	Librería Sercos: estructuras de datos predeterminadas.....	130
<b>5</b>	<b>Configuración del hardware del sistema.....</b>	<b>133</b>
5.1	Configuración de E/S. Red EtherCat.....	134
5.1.1	Tarjetas Profibus .....	134
5.1.2	PLC de seguridad .....	135



5.1.3	Drives y servos.....	137
5.2	Configuración de los ejes de movimiento NC .....	141
<b>6</b>	<b>Descripción de la interfaz de explotación (HMI) .....</b>	<b>152</b>
6.1	PLC1: visualización .....	153
6.1.1	Generales .....	153
6.1.2	Control de las ventanas fijas .....	154
6.1.3	Control del movimiento acimutal de la cúpula.....	155
6.1.4	Control del movimiento de la compuerta rendija .....	156
6.1.5	Control del movimiento del Wind Shield.....	157
6.2	PLC2 a bordo de la cúpula: visualización .....	158
6.2.1	Generales .....	158
6.2.2	Control del movimiento acimutal de la cúpula.....	159
6.2.3	Control del movimiento de la compuerta rendija .....	160
6.2.4	Control del movimiento del Wind Shield.....	161
<b>7</b>	<b>Instalación y puesta en servicio.....</b>	<b>162</b>
<b>8</b>	<b>ANEXO A – Documentación software.....</b>	<b>164</b>
8.1	PLC1: panel eléctrico 0X00 .....	164
8.1.1	FB00_GEN.....	164
8.1.2	FB10_VM: Bloque de función para la gestión de motores Compuerta y Persiana .....	164
8.1.3	FB25_ProfibusServo_PLC1_PLC2 .....	164
8.1.4	FB26_ProfibusServo_PLC2_PLC1 .....	164
8.1.5	FB27_ProfibusGen_PLC2_PLC1.....	164
8.1.6	FB28_ProfibusGen_PLC1_PLC2.....	164
8.1.7	MAIN .....	164
8.1.8	Estructuras de datos.....	164
8.1.9	Variables globales.....	164
8.2	PLC2: panel eléctrico 0X01.....	164
8.2.1	FB00_GEN.....	164
8.2.2	FB12_AZ. Llamada a FB de gestión de movimiento Azimutal.....	164



8.2.3	FB10_CR. Llamada a FB de gestión de movimiento Compuerta.....	164
8.2.4	FB11_WS. Llamada a FB de gestión de movimiento Wind Shield .....	164
8.2.5	FB13_RC. Llamada a FB de gestión de Resistencias Calefactoras.....	164
8.2.6	FB20_MenorDistancia .....	164
8.2.7	FB21_DesarolloLineal.....	164
8.2.8	FB22_FiltroAnalogico .....	164
8.2.9	FB24_CompuertaCG.....	164
8.2.10	FB25_ProfibusServo_PLC1_PLC2 .....	164
8.2.11	FB26_ProfibusServo_PLC2_PLC1 .....	164
8.2.12	FB27_ProfibusGen_PLC1_PLC2 .....	164
8.2.13	FB28_ProfibusGen_PLC2_PLC1 .....	164
8.2.14	MAIN .....	164
8.2.15	Estructuras de datos.....	164
8.2.16	Variables globales.....	164

## 1 Objeto y alcance

El presente documento tiene como objetivo la descripción de la instalación eléctrica, desarrollo, programación y puesta en marcha del proyecto de electrificación y automatización de la cúpula de un telescopio instalado en un Observatorio Astrofísico. El proyecto surge a raíz de la necesidad de electrificar, calentar y automatizar los componentes móviles de la cúpula que albergará el telescopio.

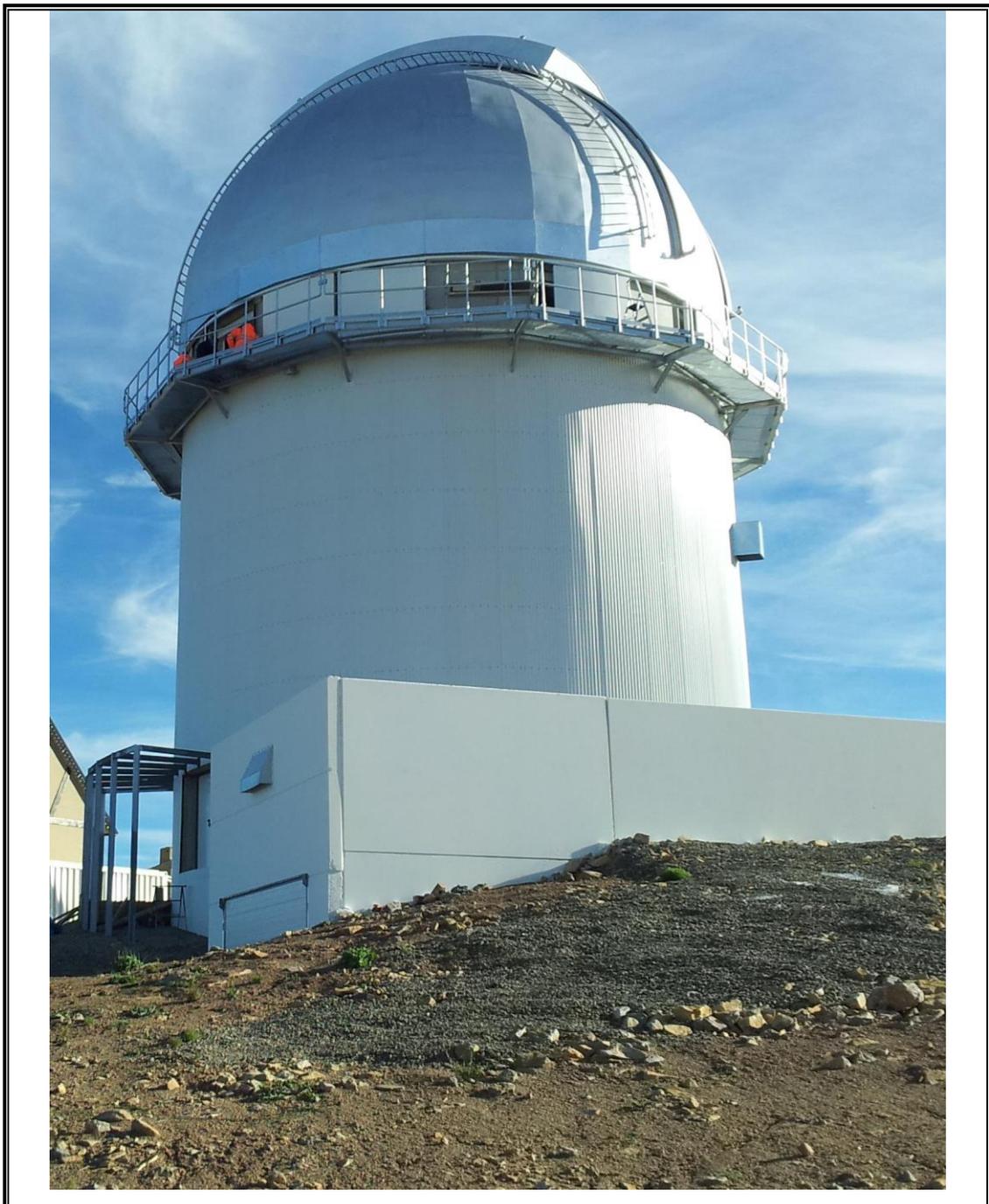


Fig. 1.1 – Vista global de la cúpula sobre el edificio del telescopio

El principal objetivo es desarrollar una cúpula para proteger el telescopio que alberga del agua, nieve y viento y, cuando las condiciones climatológicas sean óptimas, permitirle realizar sus funciones de observación. La cúpula irá montada sobre un edificio de hormigón cilíndrico de 13 metros de diámetro ubicado en un pico con una altitud de 2.000 metros sobre el nivel del mar.

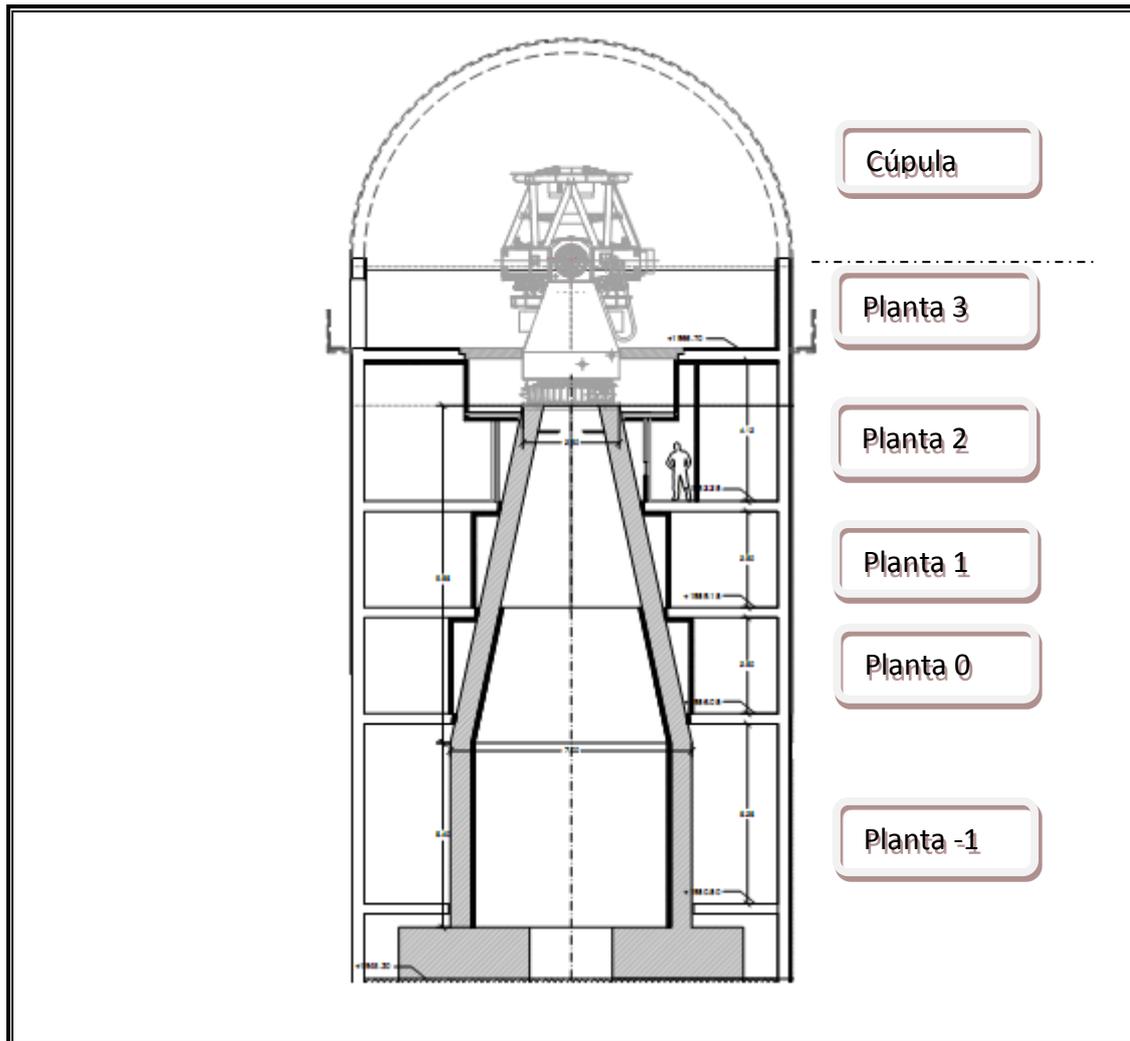


Fig. 1.2 – Sección de la cúpula sobre el edificio

Para cumplir con este objetivo, se plantea la necesidad de dar movimiento a los siguientes elementos mecánicos:

- **Parte fija del edificio:** hay 10 ventanas ubicadas en la planta del telescopio cuyo objetivo será climatizar e iluminar el interior. Cada ventana tendrá una compuerta corredera metálica externa que asegura el sellado del edificio y una persiana interna. Es necesario poder accionar de manera independiente cada elemento pudiendo establecer su porcentaje de apertura.
- **Cúpula o parte móvil.** Se compone de 4 grupos principales:
  - **Movimiento giro acimutal.** Permite efectuar un giro de  $360^\circ$  de la cúpula sobre su propio eje acimutal sin tener ningún tope, es decir, debería ser capaz de dar indefinidas vueltas. Este movimiento deberá estar sincronizado con el punto de mira del telescopio durante el proceso de observación.
  - **Movimiento de la compuerta rendija.** La compuerta principal de la cúpula se encarga de dar visibilidad al telescopio y está compuesta por 2 compuertas telescópicas que dan un grado de apertura total de  $106^\circ$ . El movimiento de la compuerta podrá ser porcentual y en todo momento debemos saber su posición absoluta.
  - **Movimiento del Wind Shield.** Este elemento es una cortina cortavientos que protegerá al telescopio cuando la compuerta rendija esté abierta, siempre y cuando no se interponga en el ángulo de visión del mismo. Debe ser capaz de proteger un ángulo de  $36^\circ$ . Posicionamiento continuo (y no discreto) con una precisión de al menos  $1^\circ$ .
  - **Sistema de calefacción.** Tiene como objetivo garantizar el movimiento de las partes móviles en condiciones climatológicas adversas. Con esto se debe evitar el acúmulo de hielo y nieve en los puntos críticos de la instalación.

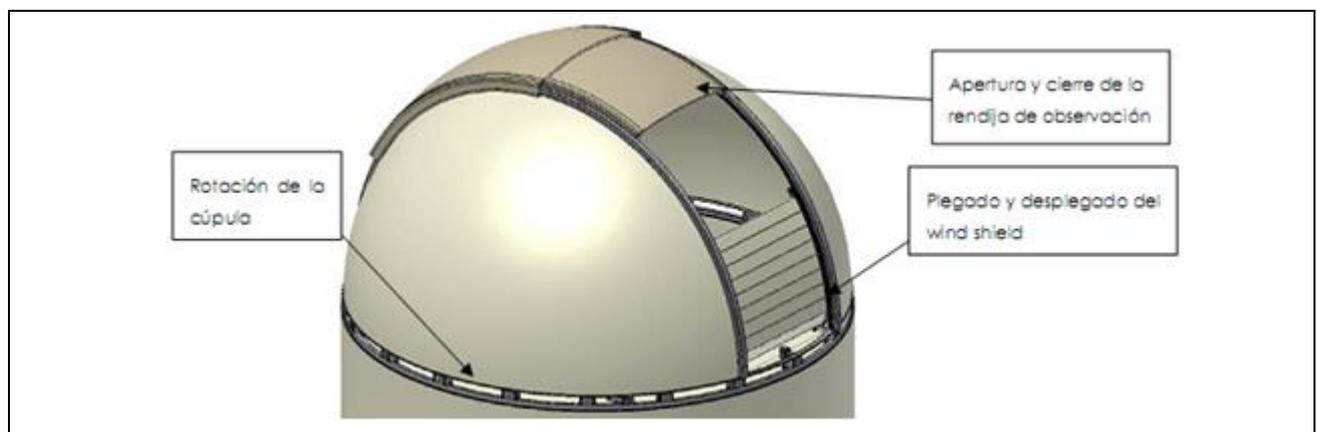


Fig. 1.3 – Descripción de los movimientos de la cúpula

### 1.1 Antecedentes

En la actualidad se pueden encontrar numerosos sistemas en los que se hace necesario realizar este tipo de proyectos. En el Observatorio Astrofísico de Javalambre están operativos 2 telescopios, uno de ellos el telescopio JAST/T80 (Javalambre Auxiliary Telescope) se encuentra ya integrado en el Pico del Buitre, de similar construcción pero con dimensiones más reducidas, con un diámetro de la lente de 82,6 cm. Este tipo de cúpulas, de fabricación estándar no plantean los mismos retos a nivel de diseño, ingeniería y desarrollo que la que nos ocupa, que con un diámetro de casi 13 metros y peso de 25 Tm hace que su fabricación sea completamente exclusiva.

Otro ejemplo cercano se puede encontrar en el Instituto de Astrofísica de Canarias (IAC). El Gran Telescopio CANARIAS (también conocido como GTC) fue un ambicioso proyecto español cuyo objetivo era el construir y operar uno de los telescopios más grandes y avanzados del mundo. Bajo el liderazgo del Instituto Astrofísica de Canarias (IAC), la ceremonia de la primera luz tuvo lugar en la madrugada del 14 de Julio de 2007. Su producción científica se inició en marzo de 2009, una vez que la óptica del telescopio y su sistema de control estuvieron suficientemente desarrollados, y el primer instrumento científico, OSIRIS, había sido instalado.

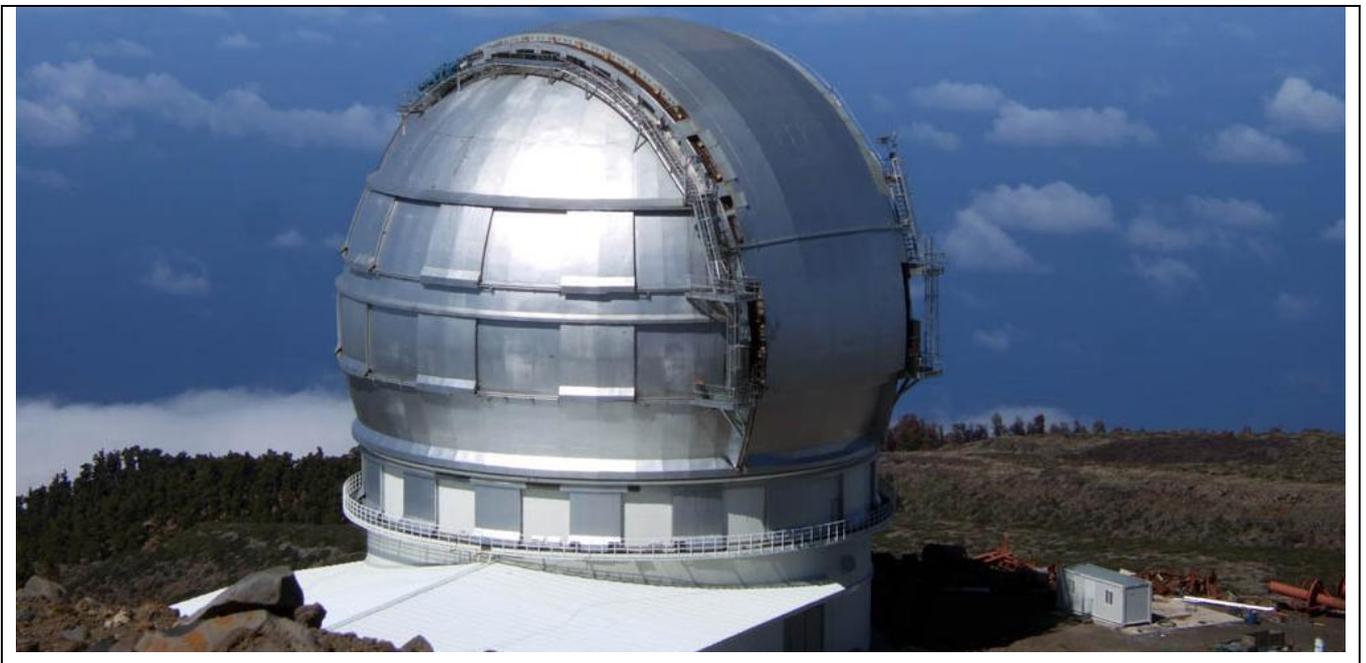


Fig.1.1.1 – Cúpula G.T.C.

El inicio de la fase científica operativa del telescopio fue la culminación de trabajo de diseño y desarrollo que tuvo lugar durante más de una década. Los trabajos de construcción del telescopio en el Observatorio del Roque de Los Muchachos, La Palma, comenzaron en el año 2000. El Observatorio



del Roque de Los Muchachos, junto con el Observatorio del Teide, en Tenerife, forman el Observatorio Norte Europeo (ENO). Este observatorio ofrece excelentes condiciones de observación debido a la alta calidad de su cielo nocturno y a la existencia de una ley de protección contra contaminación lumínica.

El Gran Telescopio CANARIAS (GTC), actualmente es el telescopio óptico-infrarrojo más grande, y uno de los más avanzados, del mundo. Su espejo primario está formado por 36 segmentos hexagonales que actúan conjuntamente como un solo espejo. La superficie colectora del espejo primario de GTC es equivalente a la de un telescopio con un espejo monolítico de un diámetro de 10.4 m. Gracias a su gran área colectora y a su avanzada ingeniería, el GTC se encuentra entre los mejores telescopios dedicados a la investigación astronómica.

El telescopio mismo está rodeado por una cúpula que lo protege de los elementos. Al mismo tiempo, la cúpula está diseñada para minimizar las turbulencias del aire cerca del telescopio, con un diámetro de 30 metros. Cuando empieza una noche de observación lo primero que se hace es abrir la cúpula, permitiendo que la luz de las estrellas llegue al telescopio.



## 1.2 Especificaciones técnicas

- Telescopio:
  - Diámetro primario de observación del telescopio: 2,5 m,  $\pm 2^\circ$ .
  - Velocidad de operación: 17 "/s.
  - Velocidad máxima: 4 °/s. Aceleración: 1 °/s<sup>2</sup>.
  - Velocidad máxima de viento funcional: 36 m/s.
  - Velocidad máxima de viento de supervivencia: 50 m/s.
- Cúpula:
  - Velocidad máxima: 4 °/s. Aceleración: 1 °/s<sup>2</sup>.
  - Velocidad de operación discontinua respecto de la velocidad de operación del telescopio.
  - Peso estimado de la cúpula: 20 Tm.
  - Diámetro de cúpula: 12,98 m.
  - Centro de la cúpula respecto de la base de apoyo de ésta: 450 mm.
  - Rendija de observación:
    - La rendija deberá permitir observaciones sin obstrucciones de 20° y sobre el horizonte hasta 2° pasado el zenit.
    - La rendija de la cúpula permitirá movimientos acimutales del telescopio de hasta 2°.
    - Peso estimado de las dos lamas de la compuerta: 3 Tm.
  - Wind Shield:
    - Ángulo de apertura sobre la horizontal: 35 °  $\pm 1^\circ$ .
    - Porosidad del 50%, con un mallado de 5 mm preferentemente.
  - Generales:
    - Temperatura máxima funcional: -15 °C a 25 °C.
    - Temperatura máxima de supervivencia: -30 °C
    - Coeficiente de seguridad de los mecanismos: 2



- Modos de trabajos de los ejes:
  - Modo directo: se establece una consigna de posición y velocidad y el eje en cuestión deberá ejecutar el comando.
  - Modo tracking: la cúpula deberá sincronizarse con los movimientos efectuados por el telescopio. Esta sincronización podrá ser continua o discreta.
- Modos de trabajo de la instalación en conjunto:
  - Manual: los accionamientos podrán ser accionados independientemente con una función tipo Jog.
  - Semiautomático: se le podrá mandar una consigna local a los diferentes grupos de movimiento.
  - Automático: sólo hará caso a las consignas recibidas por el bus de comunicación por el telescopio.
- La cúpula será capaz de dar giros completos y seguidos en su movimiento acimutal sin restricción alguna. Habrá dos velocidades de operación, una lenta para los movimientos de seguimiento del telescopio y otra rápida (del orden de 30 veces) para movimientos largos.
- El grado de apertura de la compuerta rendija será de 100º como mínimo.
- El Wind Shield cubrirá un ángulo de 36º y no puede interferir en el movimiento de la compuerta rendija. Ambos movimientos podrán ser simultáneos.
- Cuando las condiciones climatológicas externas sean desfavorables, la cúpula deberá ser capaz de proteger al telescopio de agua, nieve, viento, polvo y rayos eléctricos.
- Los movimientos críticos para la seguridad del telescopio deberán poder ser ejecutados en ausencia total de electricidad.
- La cúpula deberá comportarse como una caja de Faraday para protegerse de tormentas eléctricas y rayos. No podrá instalarse un pararrayos.
- El sistema de control deberá ser integrado bajo el fabricante Beckhoff. Esto incluye:
  - PLC: CPU, tarjetas de E/S, PLC de seguridad, tarjetas de comunicación.
  - Accionamientos: incluyendo Servo Drives y los propios servos y sistemas de posicionamiento de los mismos.
- La comunicación entre la cúpula y el telescopio se lleva a cabo por el bus de campo Profibus DP.



### 1.3 Alcance

El proyecto se centra exclusivamente en la instalación eléctrica y sistema de automatización y tiene como objetivo desarrollar los siguientes puntos principales:

- Suministro de los paneles eléctricos para incluir el sistema de control y supervisión de la instalación.
- Suministro de los accionamientos y sistemas de posicionamiento. El suministro de las reductoras de los accionamientos está fuera del alcance, pero sin embargo, debido a la influencia tan decisiva en el resto de componentes, se detallará el proceso de selección de las mismas.
- Ingeniería y documentación eléctrica de la instalación.
- Desarrollo del software de control y supervisión de los accionamientos.
- Existe un sistema Scada externo, no incluido en el alcance de la presente, al cual el control de la cúpula servirá los datos necesarios para su correcta explotación. La presente incluye un sistema de visualización para una visualización y control local de la instalación.
- Instalación eléctrica de campo.
  - Tendido de mangueras de potencia, control y comunicación.
  - Tendido de bandejas eléctricas y tubos necesarios para llevar dichas mangueras eléctricas.
  - Sistema de calefacción.
  - Sistema de carriles electrificados para cumplir con 3 funciones: dar acometida al panel eléctrico a bordo de la cúpula, bus de datos para garantizar el intercambio de datos y posicionamiento absoluto de la cúpula.
- Puesta en marcha de la instalación y pruebas de funcionamiento. Esta se divide en dos fases:
  - Fase 1 de montaje en los talleres de fabricación.
  - Fase 2 de montaje in situ.
  - Una vez realizada la instalación eléctrica se probará la instalación hasta cumplir con los pertinentes protocolos de pruebas.

## 2 Necesidades de automatización y control: selección de equipos.

El proyecto plantea los siguientes puntos a resolver desde el punto de vista eléctrico, de control y de movimientos:

### 2.1 Movimiento de las ventanas fijas de ventilación

En la parte fija del edificio, planta 3 telescopio, van instaladas 10 ventanas con una función de climatización y/o ventilación y para permitir la entrada de luz al recinto. Cada ventana lleva una puerta metálica corredera por la parte externa del edificio que asegura su estanqueidad. En la cara interna de la ventana se necesita hacer una regulación del flujo y dirección del aire de entrada. En una primera versión se planteó instalar una serie de láminas con la capacidad de hacer un movimiento de giro sobre su eje horizontal. Este sistema sería accionado por un único accionamiento lineal controlado con un sistema servo drive. Este sistema se descartó por motivos económicos, ya que disparaba el presupuesto por la necesidad de incluir 10 servo drives para controlar los 10 accionamientos lineales.



Fig. 2.1.1 – Vista de las ventanas previo a la instalación

La solución adoptada, mucho más sencilla y económica, fue instalar una persiana doméstica accionada con un motor de 220VAC con 2 finales de carrera internos de corte. Al no haber posibilidad de llevar estos dos finales de carrera al PLC de control, se añaden 2 detectores inductivos, que a

través de una leva metálica instalada en la propia persiana, permiten saber si la persiana está completamente cerrada o abierta.

Con respecto a la puerta corredera externa, se integra un motor asíncrono de 220VAC con un piñón dentado en el eje de salida, el cual ataca a una cremallera solidaria a la puerta a mover. Como límite de recorrido se instala un único final de carrera con sistema doble de accionamiento. Sobre la compuerta se fijan dos escudras que accionan esta final de carrera para determinar los límites de recorrido: abierta o cerrada.

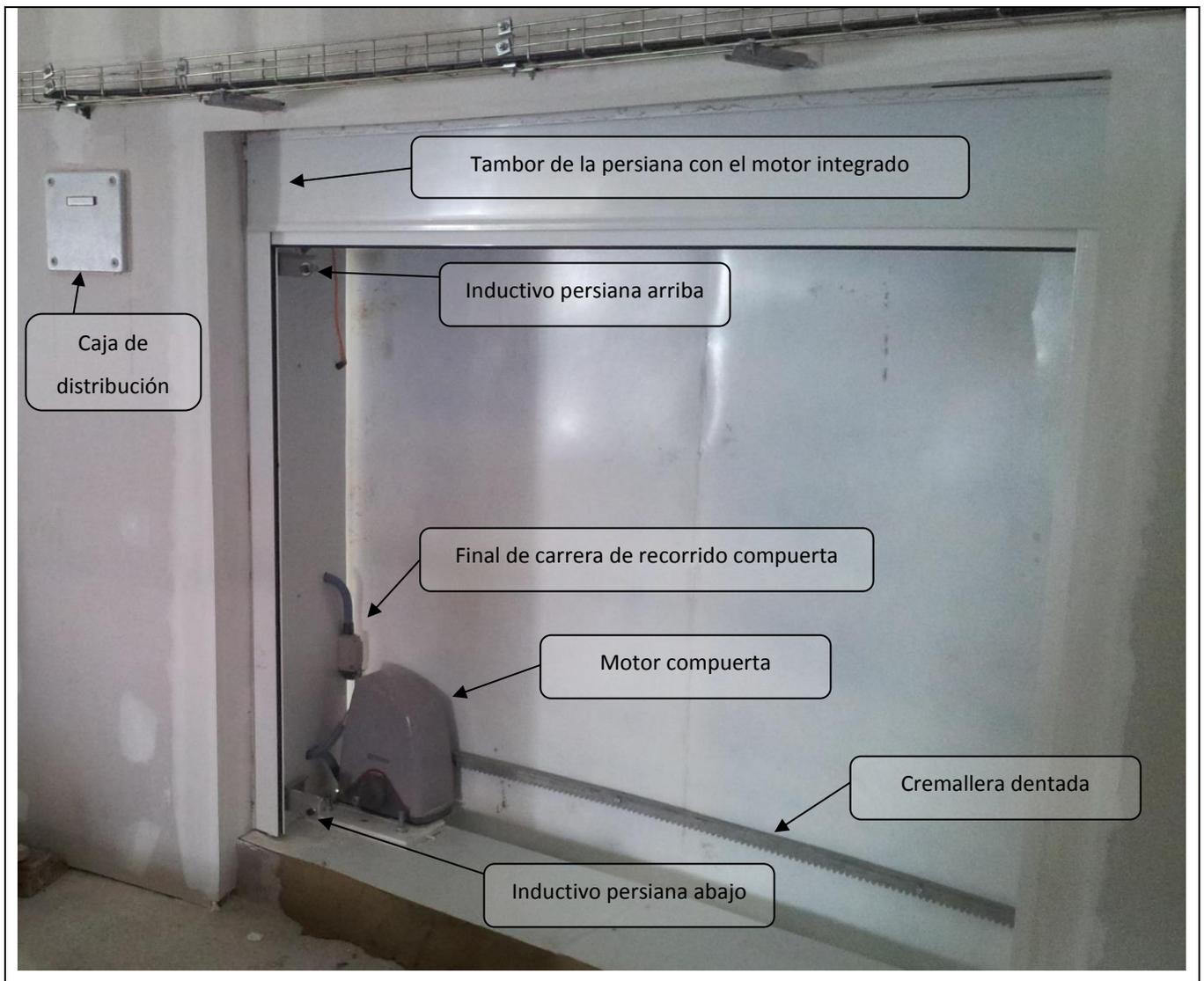
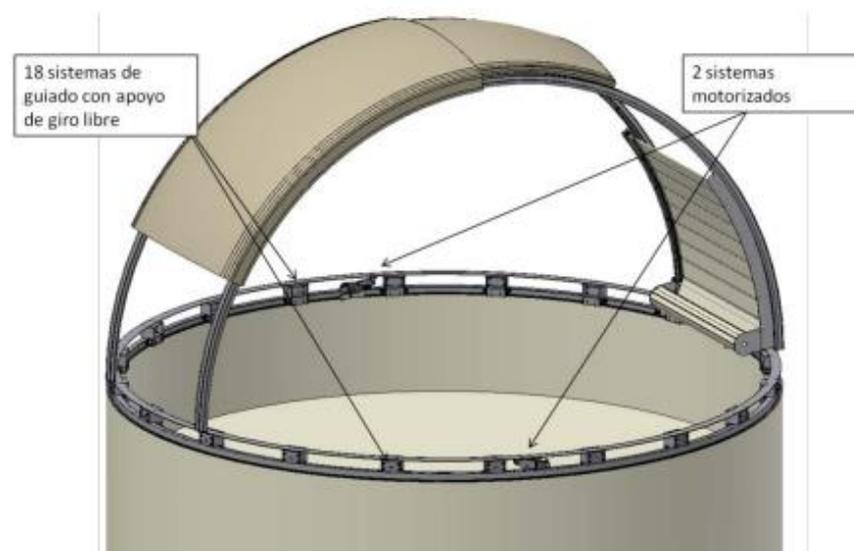


Fig. 2.1.2 – Accionamientos integrados en las ventanas fijas de ventilación

## 2.2 Movimiento acimutal

El primer movimiento a resolver propiamente de la cúpula consiste en el giro acimutal que permite a la misma girar sobre su eje vertical sin restricciones y en ambos sentidos de giro, pudiendo dar indefinidas vueltas.

La cúpula se asienta y gira sobre un carril circular en H fijo sobre la circunferencia superior del edificio. A bordo se instalan 18 sistemas de guiado de giro libre compuesto cada uno por ruedas de guiado verticales diseñadas para transmitir las cargas de compresión y tracción y ruedas de guiado horizontales. A parte, están los 2 sistemas de tracción, cada uno compuesto por una rueda de 180mm de diámetro que transmiten el movimiento.





Ya desde un principio la solución vino por disponer 2 accionamientos enfrentados, dispuestos a 180º, ya que de esta manera los esfuerzos soportados por los elementos estructurales de la cúpula se ven minimizados. Sin embargo, su posición sufrió variaciones, ya que pasó de ir fijos en el edificio a ir a bordo de la cúpula para mejorar el comportamiento cinemático del movimiento y el sistema de transmisión.

Las necesidades cinemáticas, calculadas en el proyecto mecánico, a la salida de cada una de las dos reductoras para el giro acimutal de la cúpula son las siguientes:

Variable	Total	Por rueda	Unidades
Potencia	1,87	0,94	Kw
Par	224,60	122,30	Nm
Velocidad de operación a la salida de la reductora		1.99	RPM
Velocidad máxima a la salida de la reductora		54.08	RPM

A la hora de elegir el tipo de accionamiento, el primer punto a tener en cuenta es la gran diferencia que hay entre la velocidad de operación y la velocidad máxima, siendo esta última del orden de 27 veces superior. Una primera solución fue recurrir a 2 motores asíncronos controlados a través de variadores de frecuencia. El problema es que la curva de par de estos motores no cumplía con estas 2 velocidades tan dispares. Por ello se decidió ir hacia una solución tipo servomotor con motores síncronos, los cuales ofrecen prácticamente su par nominal desde velocidad 0 hasta la velocidad nominal.

Otro punto de las especificaciones que marcó la selección de los accionamientos y de las reductoras fue la necesidad de poder hacer el giro acimutal y cierre compuerta en ausencia de tensión eléctrica. En la primera solución con motores asíncronos, se pensó en instalar frenos eléctricos, los cuales pueden venir con un embrague mecánico que permite con una palanca liberar el freno y poder mover sin tensión. Pero al ir a una solución servo, esta opción no existe en el mercado, por lo que no se puede instalar un freno eléctrico. Siempre está la posibilidad de desactivar el freno mediante una fuente de alimentación portátil pero esta solución no daba robustez al diseño. Obviamente, debe existir un sistema de frenado, y se pensó en buscar una reductora irreversible y con doble entrada para poder quitar el freno eléctrico del servo:



- Reductora irreversible: si no se ejerce par en el primario no se produce el movimiento. Por lo tanto la carga queda frenada;
- Reductora con doble entrada: la primera para el eje de salida del servo. La segunda posibilita el poder mover manualmente a través de una manivela o algún tipo de herramienta eléctrica a batería, como puede ser un taladro con un eje acoplado.

### 2.2.1 Selección de la reductora acimutal

La reductora seleccionada es del fabricante Cotransa con referencia R V 80 UO3D del tipo sinfín corona. Es quizás el tipo de reductor de velocidad más sencillo, se compone de una corona dentada, normalmente de bronce en cuyo centro se ha embutido un eje de acero (eje lento), esta corona está en contacto permanente con un husillo de acero en forma de tornillo sin-fin. Una vuelta del tornillo sin fin provoca el avance de un diente de la corona y en consecuencia la reducción de velocidad. La reducción de velocidad de una corona sin fin se calcula con el producto del número de dientes de la corona por el número de entradas del tornillo sin fin.



Fig.2.2.1.1 – Reductora del tipo sin-fin corona

Paradójicamente es el tipo de reductor de velocidad más usado y comercializado a la par que todas las tendencias de ingeniería lo consideran obsoleto por sus grandes defectos que son, el bajo rendimiento energético y la pérdida de tiempo entre ciclos.

La mayoría de reductoras que se pueden encontrar en el mercado (helicoidales, planetarias, cicloidales) en la actualidad ofrecen rendimientos estáticos y dinámicos muy eficientes cercanos al 90%, lo cual sería óptimo en cualquier aplicación estándar pero inadecuado para esta.

Se ha elegido esta reductora para cumplir con las necesidades de poder realizar un movimiento de emergencia en ausencia de corriente eléctrica. Para ello cuenta con doble entrada (una para el servo y otra para acoplar un accionamiento manual, tipo manivela o taladro de batería) y es irreversible (rendimiento estático inferior a 0,5), lo que implica:

- La carga no puede moverse si no se aplica par a la entrada de la reductora. Esto hace que el servo no requiera de freno eléctrico.

NOTA: tratándose de servos, si pudiéramos freno eléctrico, la única posibilidad de quitar el freno es aplicando corriente, lo cual nos llevaría a la necesidad de desacoplar el servo de la reductora para realizar un movimiento de emergencia.

- Para movimiento de emergencia se necesitará una persona aplicando potencia en cada reductora de manera simultánea.

## Tabla de características

### Cotransa RV 80 UO3D Sinfín corona

Índice de reducción: 50

Rendimiento dinámico: 0,75

Rendimiento estático: 0,45. Esto implica que la reductora es irreversible

Segunda entrada para accionamiento de emergencia

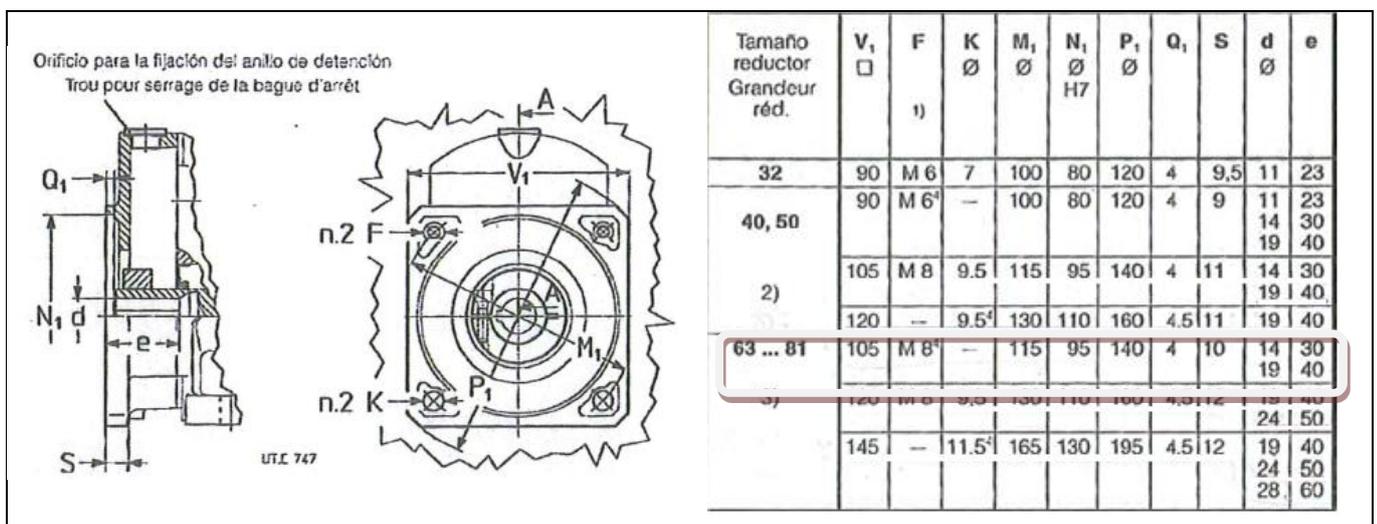
Brida de acoplamiento al servo tamaño 105. Parámetros a considerar en la elección del servo (según figura de abajo):

$V_1 = 105\text{mm}$  (longitud de la brida)

$M_1 = 115\text{mm}$  (distancia entre centros de los agujeros de acoplamiento)

$d = 14$  ó  $19\text{mm}$  (diámetro eje salida servo)

$e = 30$  ó  $40\text{mm}$  (longitud eje salida servo)



COTRANSA. Brida de acoplamiento entre la reductora y el servo



### 2.2.2 Selección del accionamiento acimutal

El movimiento acimutal será accionado por dos servomotores síncronos dispuestos a 180° para realizar el control de posición angular de la cúpula.

Los motores síncronos son un tipo de motor de corriente alterna. Su velocidad de giro es constante y depende de la frecuencia de la tensión de la red eléctrica a la que esté conectado y por el número de pares de polos del motor, siendo conocida esa velocidad como "velocidad de sincronismo". La expresión matemática que relaciona la velocidad de la máquina con los parámetros mencionados es:

$$n = \frac{60 \cdot f}{P} = \frac{120 \cdot f}{p}$$

donde:

- f: Frecuencia de la red a la que está conectada la máquina (Hz)
- P: Número de pares de polos que tiene la máquina
- p: Número de polos que tiene la máquina
- n: Velocidad de sincronismo de la máquina (revoluciones por minuto)

Se ha optado por este tipo de accionamientos para cubrir la gran diferencia entre la velocidad de operación y la velocidad máxima, ya que para trabajar con un motor asíncrono debiéramos colocar ventilación forzada para su refrigeración, no así con los servomotores síncronos que se refrigerarán por su superficie por convección. Además un motor síncrono ofrece un par prácticamente constante desde el arranque hasta la velocidad nominal, lo que asegura el correcto movimiento en ambas velocidades y en todo el rango intermedio.

Uno de los criterios que han determinado la elección del servo ha sido la necesidad de ajustarse a las dimensiones de la brida de Cotransa tamaño 105 (para evitar recurrir a bridas no estandarizadas).

Dentro de la amplia gama de accionamientos que ofrece el fabricante Beckhoff, la búsqueda se centra en la reciente familia AM80XX. Esta serie presenta una solución robusta, eficiente y duradera. Ofrecen un bajo momento de inercia en el rotor y una capacidad muy alta de sobrecarga. Con estos datos técnicos, las aplicaciones más dinámicas pueden ejecutarse. Los devanados de los motores AM8000 se implementan utilizando la tecnología "salient pole-wound". Esto da lugar a un factor de o de alto contenido de cobre. Debido al factor de espacio de alta ranura, pares elevados continuos



pueden ser alcanzados. El estator ofrece una transición térmicamente ideal de la bobina a la carcasa. Una consecuencia positiva adicional es la protección mecánica de los hilos para bobinas electromagnéticas contra vibraciones.

<b>Información técnica</b>	<b>AM80XX</b>
<b>Tipo de motor</b>	Imanes permanentes. Alimentación trifásica. Motor síncrono
<b>Material magnético</b>	Neodimio – Hierro - Boro
<b>Sistema de aislamiento</b>	Clase térmica F(155 °C)
<b>Diseño</b>	Montaje de brida según IM 65, IM V1, IM V3
<b>Clase de protección</b>	IP 54, IP 65
<b>Ventilación</b>	Por convección, permitiendo temperatura ambiente 40°C
<b>Sensor de temperatura</b>	KTY en el bobinado del estator
<b>Conexión</b>	Conector redondo, salida 90°
<b>Tiempo de vida</b>	30.000 horas de los rodamientos de bola
<b>Aprobación</b>	CE, UL/CuL

El estudio de esta familia AM80XX nos lleva a seleccionar la referencia AM8052-wJy0 cuyas prestaciones dinámicas se adecuan sin problemas a los requerimientos de entrada (ver punto 2.2 Movimiento acimutal). El problema surge a la hora de acoplarse con la brida tal y como se muestra a continuación:

	<b>AM8052-wJy0</b>	<b>Brida Cotransa</b>
$V_1$ = Longitud de la brida	105 mm	105 mm
$M_1$ = distancia entre centros de los agujeros de acoplamiento	115 mm	115 mm
d = diámetro eje salida servo	24 mm	19 mm
e = longitud eje salida servo	50 mm	40 mm

Beckhoff ofrece la posibilidad de adaptar los ejes de salida del servo a 19-40mm dando una solución específica para esta aplicación que se adapta a las necesidades.



## Tabla de características

Referencia BH	AM8052-0J00
0	Eje liso de salida
J	Tamaño bobinado
0	Resolver integrado
0	Sin freno eléctrico
Drive de control	AX5112
Par estático	8,2 Nm
Par nominal	6,9 Nm
Velocidad nominal	4000 RPM
Corriente nominal	5,2 A
Momento de inercia	4119 kg/cm <sup>2</sup>
	Cables de potencia y resolver prefabricados y conectorizados
	Rodamientos de bolas con una vida de 30.000 horas = L10h
	Eje liso salida de Ø19mm y 40mm de longitud
Feedback	Encoder tipo resolver. Relativo. Incremental. Multivuelta

## Cálculos del conjunto servo + reductora

BH AM8052-0J00 + Cotransa R V 80 UO3D

Par de salida nominal:  $6,9\text{Nm} \times 50 \times 0,75 = 258,75 \text{ Nm}$  ( $>122,30\text{Nm} = \text{Par especificación}$ )

Velocidad nominal a la salida de la reductora:  $4000\text{RPM} / 50 = 80\text{RPM} = \mathbf{833,28 \text{ c}^\circ \text{ cúpula/seg}}$

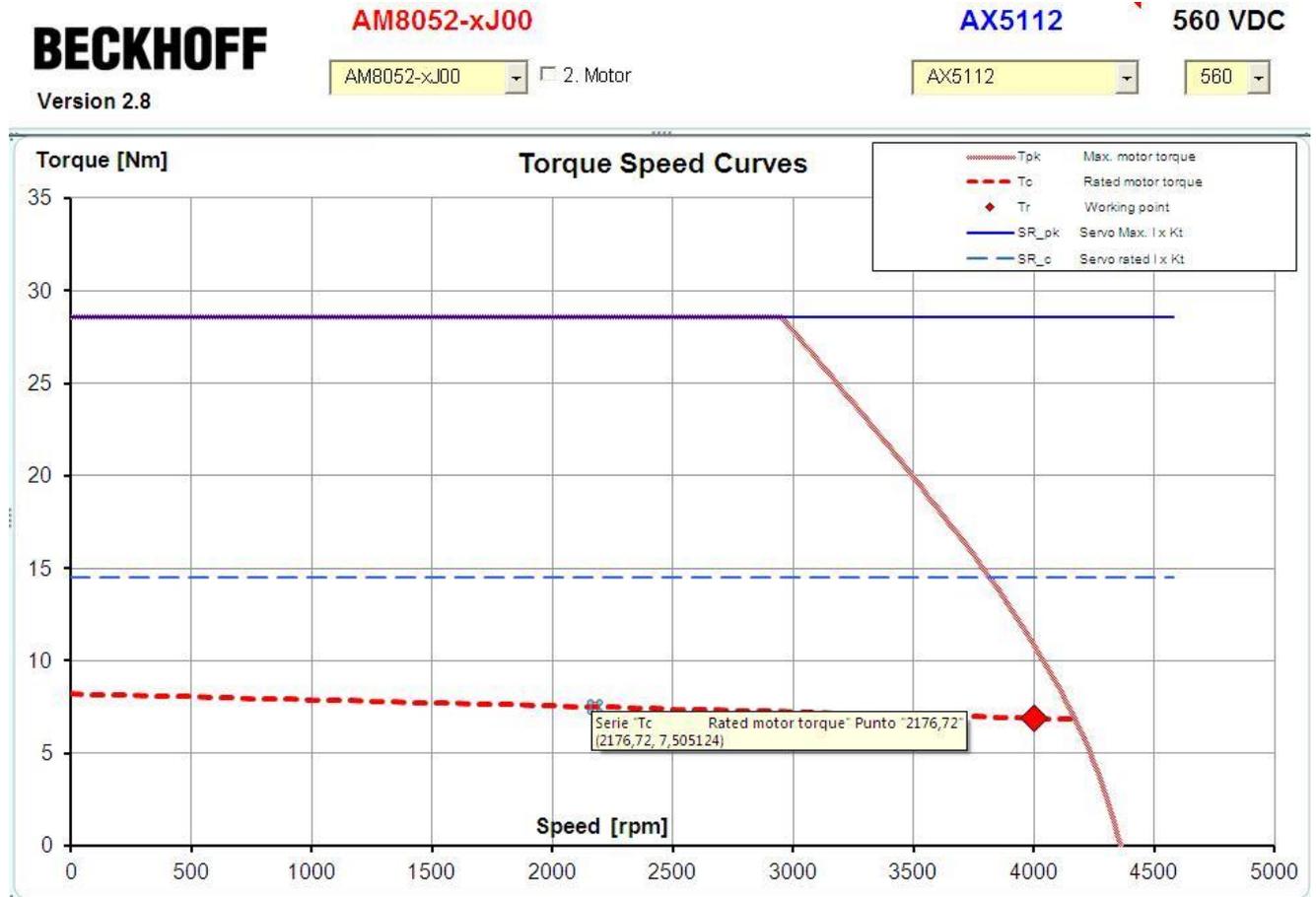
Velocidad de operación del motor:  $1,99 \times 50 = 99,5\text{RPM}$

Velocidad máxima del motor:  $54,08\text{RPM} \times 50 = 2704 \text{ RPM}$

FeedConstant - Avance cúpula en  $\text{c}^\circ$  de una vuelta motor =  $\mathbf{10,3411131059246 \text{ c}^\circ}$

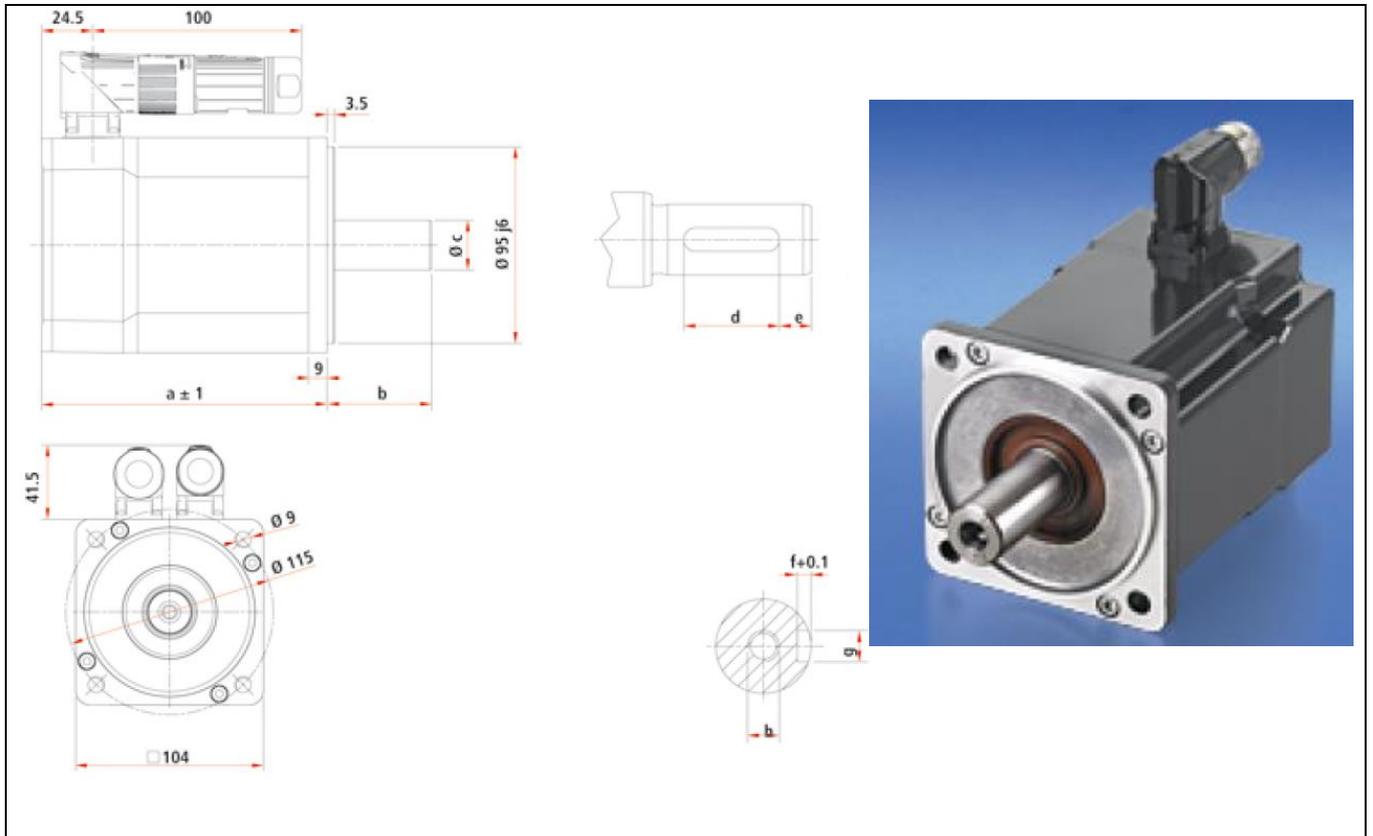


Curva de par del servomotor



Curva de par del movimiento acimutal. Señalado la velocidad nominal de operación

## Dimensiones del servomotor



Dimensiones	a	b	c	d	e	f	g	h
AM8052-0J00	169.5 mm	40 mm	19 k6	40 mm	5 mm	4 mm	8 N9	DIN332-D M8



### 2.2.3 Selección del servodrive acimutal

Una primera estrategia de control considerada fue utilizar un único variador de frecuencia alimentando a los dos servomotores. Esta opción, utilizada en control de puentes grúa por ejemplo, introduce sencillez y eficacia, además de evitar que la cúpula pudiera entrar en resonancia por las reacciones enfrentadas del control de cada servomotor. Pero esta opción únicamente sería viable con motores asíncronos, ya que en el caso de motores síncronos, se necesita instalar un encoder en cada servo que vaya conectado directamente a su controlador para conocer en todo momento la posición del rotor.

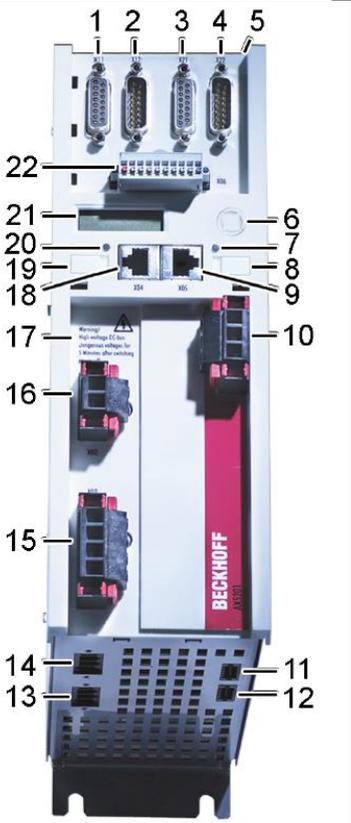
Por lo tanto, el control se realizará por dos Drives Beckhoff AX5112 con comunicación Ethercat con el PLC, siguiendo la siguiente filosofía:

- Para referenciar los encoders incrementales de ambos drivers, se utiliza el encoder absoluto externo conectado a la CPU. Será la CPU quien les dé la orden de referenciado a ambos drivers en las condiciones que se determinen y se referenciarán al valor leído por el encoder absoluto.
- El driver Maestro recibe la consigna de posición de la CPU de la parte móvil por EtherCAT. Utiliza el resolver integrado en el servo para cerrar su propio lazo de control y como valor instantáneo de posición.
- El driver Esclavo sigue la consigna del Maestro, recibiendo la misma consigna de posición del Maestro a través del bus EtherCAT.

Referencia BH	AX5112
Intensidad nominal	12A (nominal del servo 5,2A)
Intensidad de pico	26A (durante 7 segundos)
Tensión	3 x 480 V AC +10 %
Pérdida de potencia	160W
BUS	EtherCAT
Peso	5.0 Kg
Cables potencia	ZK4500-8023-0170 + ZK4500-8023-0120 (17 + 12 metros)
Cables resolver	ZK4530-8010-0170 + ZK4530-8010-0120 (17 + 12 metros)

Estos variadores, equipados de esta forma, nos darán flexibilidad en la puesta en marcha para elegir el mejor modo de funcionamiento de nuestra máquina, ya que además del sincronismo de posición, podremos trabajar en otros modos como repartos de carga, regulación de velocidad,... sin necesidad de cambiar los variadores y accesorios instalados.

Item description:	
No	Designation
1	X11 – feedback connection, encoder
2	X12 – feedback connection, resolver
3	X21 – feedback connection, encoder channel B (only for two-channel unit)
4	X22 – feedback connection, resolver channel B (only for two-channel unit)
5	X3x – optional slot for safety card X4x – optional slot for expansion cards
6	Navigation rocker
7	Status LED for EtherCAT output
8	Labeling field
9	X05 – socket for EtherCAT output
10	X03 – power supply 24 V DC input
11	X14 – sensor for motor temperature and brake
12	X24 – sensor for motor temperature and brake channel B (only for two-channel unit)
13	X23 – motor connection (U, V, W, PE) channel B (only for two-channel unit)
14	X13 – motor connection (U, V, W, PE)
15	X01 – mains supply 100 – 480 V
16	X02 – DC link output (890 V DC voltage) Connection for the external brake resistor
17	 890 V DC voltage at the DC link terminals. Dangerous voltage may be present for 5 minutes after the device is switched off. The device is safe once the voltage has fallen below 50 V.
18	X04 – socket for EtherCAT input
19	Labeling field
20	Status LED for EtherCAT input
21	Display
22	X06 – connection for digital inputs and outputs



## 2.2.4 Selección del sistema de posicionamiento absoluto acimutal

Una de las especificaciones del cliente final es que todos los movimientos tengan una referencia absoluta. Esta referencia podría haberse solucionado instalando encoders absolutos en los propios servos. Pero la medida no es directa y puede introducir errores, ya que las ruedas motrices pueden patinar o girar en vacío sin producir movimiento. Por lo tanto se opta por integrar un encoder absoluto que ofrezca una lectura directa de la posición de la cúpula.

Se dispondrá de un encoder absoluto externo de código magnético (integrado en una de las pistas del sistema de escobillas de transmisión de potencia y datos) como sistema de realimentación de posición en el movimiento, el cual irá conectado a la CPU del armario móvil vía protocolo SSI. Esta solución es muy robusta y queda perfectamente integrada en el carril electrificado. Ante una caída de tensión, la posición no se pierde ya que está grabada en la cinta magnética y la lectura es inmediata tras la recuperación de la acometida eléctrica.

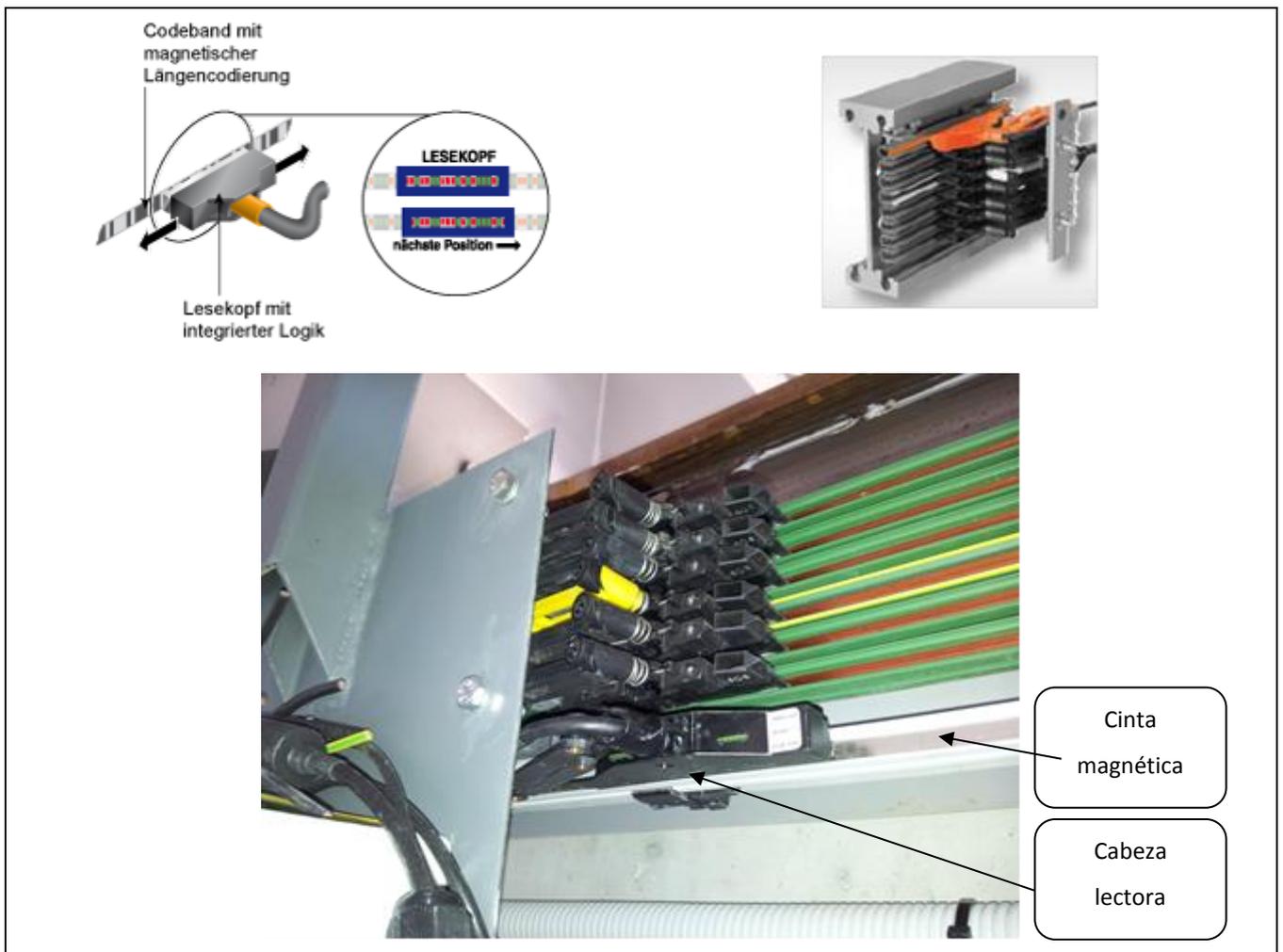


Fig. 2.2.4.1 – Sistema de posicionamiento absoluto acimutal

Se trata del sistema de posicionamiento APOS para U10 desarrollado por el fabricante Vahle, con los siguientes datos técnicos:

Descripción	Cabeza lectora
Imagen	
Resolución	1 mm
Repetibilidad	± 0,5 mm
Intervalo de medida	2 ms
Velocidad máxima de movimiento	12 m/s
Temperatura de operación	-14°C hasta +55°C
Longitud máxima de la cinta	515 m con 17Bits ( $2^{17} = 131.072$ )
Tensión de alimentación	8 – 26 VDC
Consumo	0,15A
Protección	IP54
Cabezal de lectura deslizante	LKG17-SSI

## 2.3 Movimiento de la compuerta rendija

El segundo movimiento a resolver propiamente de la cúpula consiste en la apertura y cierre de la compuerta rendija. La visión del cielo por el telescopio está habilitada a través de la apertura de esta compuerta, proporcionando una abertura de 4 metros en el perímetro acimutal por 106 grados de los 180 de la semiesfera de la cúpula. Para conseguir una abertura de 106° se integran 2 compuertas telescópicas, donde la superior integra a la inferior, siendo esta la única motorizada tal y como se muestra en la figura. La compuerta superior se mueve arrastrada por la inferior con el doble de velocidad, siendo este acople llevado a cabo con una solución mecánica de poleas semejante a la utilizada en las puertas dobles correderas de los ascensores.

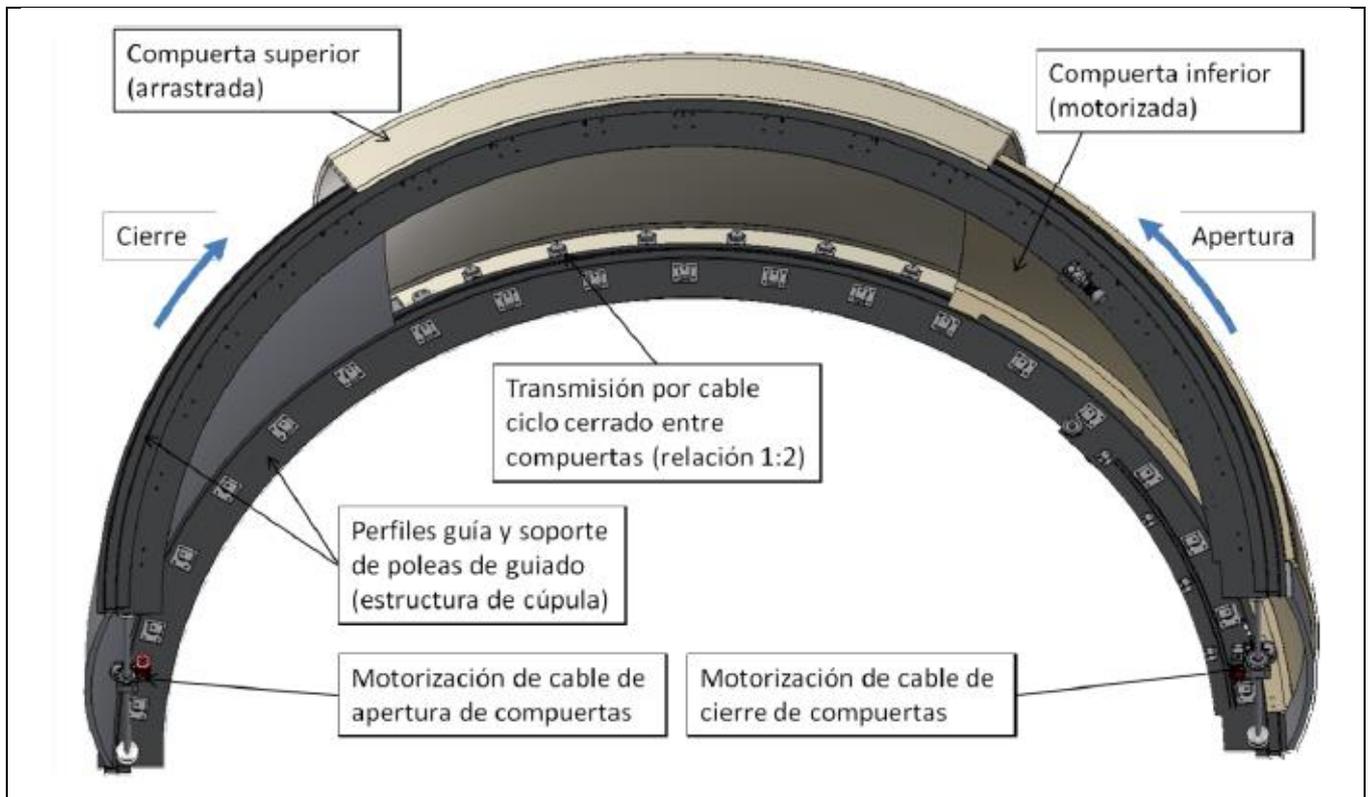


Fig. 2.3.1 – Esquema de movimiento de la compuerta rendija

El sistema de transmisión elegido pasa por un entramado de sirgas que hacen imprescindible el uso de 2 accionamientos, uno en la posición de apertura y otro en la de cierre. Cada accionamiento hará girar 2 tambores cuyas sirgas irán fijadas a la compuerta inferior transmitiéndole el movimiento.

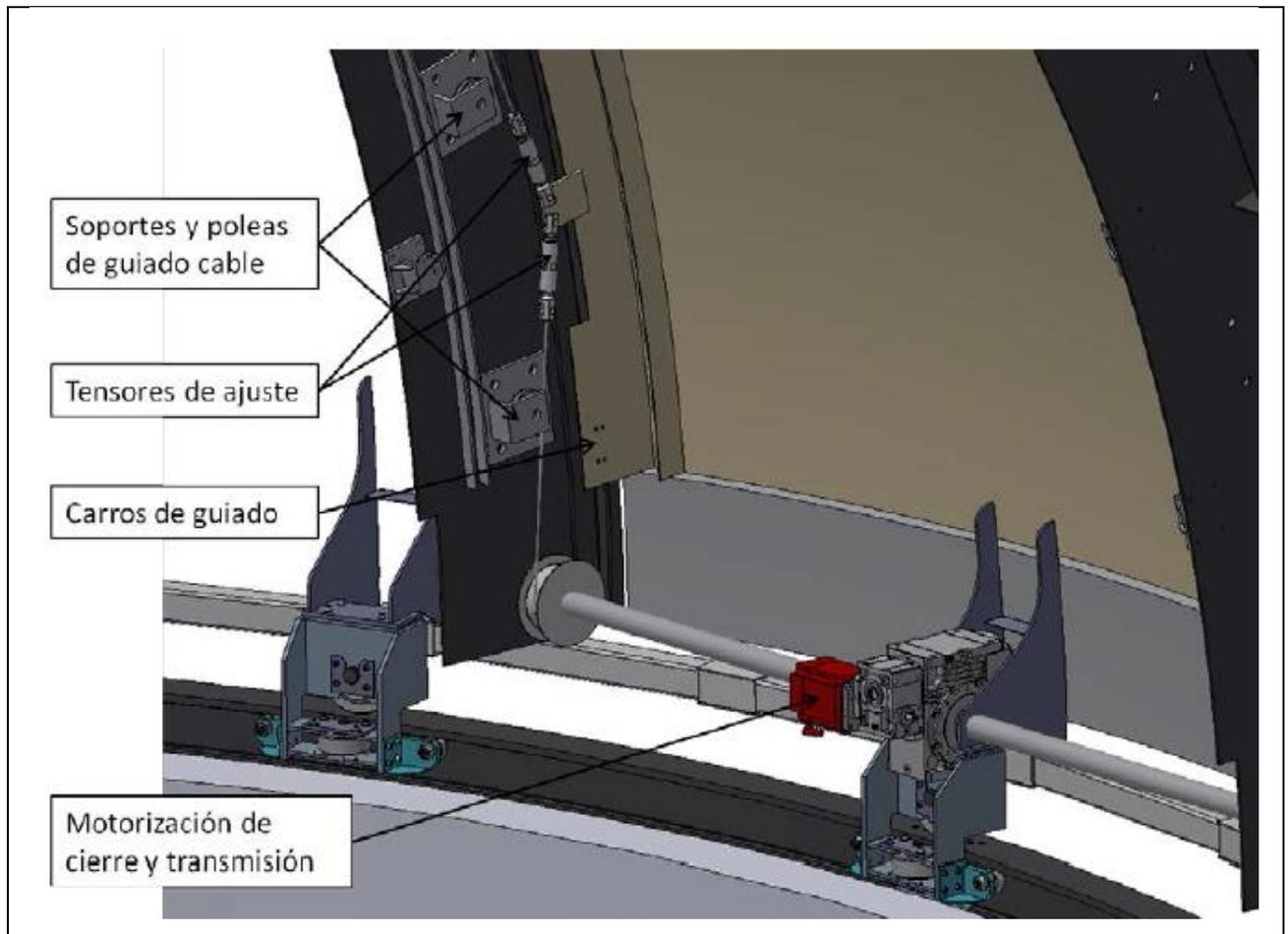


Fig. 2.3.2 – Detalle mecánico del accionamiento de cierre compuerta

Un aspecto muy importante desde el punto de vista de control son las características de los tambores de arrollado de las sirgas. Sus radios influyen directamente en el par que el conjunto motor y reductora van a tener que desarrollar. Y también determina el avance lineal/angular de la compuerta por vuelta de motor.

En esto ha habido varias versiones debido a la dificultad de integración por cuestiones de espacio en el sistema. Se consideraron tambores con doble capa de arrollamiento, con la tremenda dificultad que supone para el control, ya que el arrollamiento tiene dos radios indefinidos y no es fiable su repetibilidad. También se consideraron diferentes radios para el lado de cierre y apertura por cuestiones de espacio.

Finalmente se ha optado por instalar 4 tambores iguales y con una única capa de arrollamiento. Esto simplifica la parte de control y da robustez al sistema mecánico.

Es importante diferenciar entre el accionamiento de cierre y el de apertura. Cuando las compuertas estén abiertas, el motor de cierre deberá ser capaz de tirar con suficiente fuerza como



para levantar el peso de las 2 (aproximadamente 3,5T). Sin embargo, cuando las compuertas estén cerradas, la superior está prácticamente en reposo y su incidencia en la fuerza se minimiza e incluso favorece a contrapesar la compuerta inferior.

Con esto, las necesidades cinemáticas, calculadas en el proyecto mecánico, para el cierre y apertura de la compuerta de la cúpula son las siguientes:

Variable	Cierre	Apertura	Unidades
Potencia de tracción del motor	3,16	1,64	KW
Par a la salida de la reductora	4.646,14	1.604,37	Nm
Factor de carga	1,3	1,4	
Velocidad de operación a la salida de la reductora		8,68	RPM
Velocidad máxima		8,68	RPM
Recorrido		11,70	metros
Tiempo de apertura		180	Segundos
Diámetro tambor de tracción		245	mm
Diámetro sirga		10	mm

### Cálculos mecánicos del cierre de compuerta

Componentes de Peso Compuerta	Superior	Inferior
Peso	2,3	1 t
Longitud, ángulo [ω]	67	59 °
Posición abierta [ω]	111	110 °
Posición cdg compuerta [ω]	144,5	139,5 °
Componente radial	1.335,62	649,45 Kg
Componente tangencial	-1.872,47	-760,41 Kg
<b>Componente tangencial Peso compuertas</b>	<b>-2.632,87</b>	<b>Kg</b>

### Cálculos mecánicos de la apertura de compuerta

Peso Compuerta	Superior	Inferior
Peso	2,3	1 t
Longitud, ángulo [ω]	67	59 °
Posición abierta [ω]	58	4 °
Posición cdg compuerta [ω]	91,5	33,5 °
Componente radial	2.299,21	551,94 Kg
Componente tangencial	-60,21	833,89 Kg
<b>Peso Componente tangencial compuertas</b>	<b>773,68</b>	<b>Kg</b>



### 2.3.1 Selección de las reductoras de cierre y apertura compuerta

Al igual que en el caso del movimiento acimutal descrito en el apartado 2.2, la reductora ha sido un punto clave en el diseño. Vuelve a marcar el resto de componentes debido a la necesidad de poder cerrar la compuerta en ausencia de tensión eléctrica. Siendo en este caso de suma importancia, ya que en caso de condiciones climatológicas adversas, la compuerta debe cerrarse para proteger el telescopio.

La reductora, que sigue la línea de la solución acimutal, es del fabricante Cotransa. Se compone de dos reductoras del tipo sinfín corona trabajando en serie. Esto se debe a que este tipo de reductoras no ofrecen altos índices de reducción, en nuestro caso necesario para bajar el par motor en la medida de lo posible:

#### Cierre compuerta

1. R V 160 UO2A: índice de reducción de 40;
2. R V 80 UO3D: índice de reducción de 10 (esta es la que debe acoplar con el accionamiento).

#### Apertura compuerta

1. R V 100 UO2A: índice de reducción de 32;
2. R V 50 UO3D: índice de reducción de 10 (esta es la que debe acoplar con el accionamiento).

Al igual que en el movimiento azimutal, se ha elegido esta reductora para cumplir con las necesidades de poder realizar un movimiento de emergencia en ausencia de corriente eléctrica. Para ello cuenta con doble entrada (una para el servo y otra para acoplar un accionamiento manual, tipo manivela o taladro de batería) y es irreversible (rendimiento estático inferior a 0,5), lo que implica que la carga no puede moverse si no se aplica potencia a la entrada de la reductora. Esto hace que el servo no requiera de freno eléctrico.

Tratándose de servos como luego se verá en el punto “2.3.2 Selección del accionamiento de la compuerta rendija”, si pudiéramos freno eléctrico, la única posibilidad de quitar el freno es aplicando corriente, lo cual nos llevaría a la necesidad de desacoplar el servo de la reductora para realizar un movimiento de emergencia. Además en este movimiento, la carga podría llegar a moverse por gravedad (como es lógico en función de la posición en la que se encuentre) lo que hace imprescindible el que el freno quede asegurado por la reductora.

Otra posibilidad estudiada es frenar a la salida de la reductora, pero se necesita una par de frenado muy elevado (4.700Nm), lo que lleva a descartar esta posibilidad.

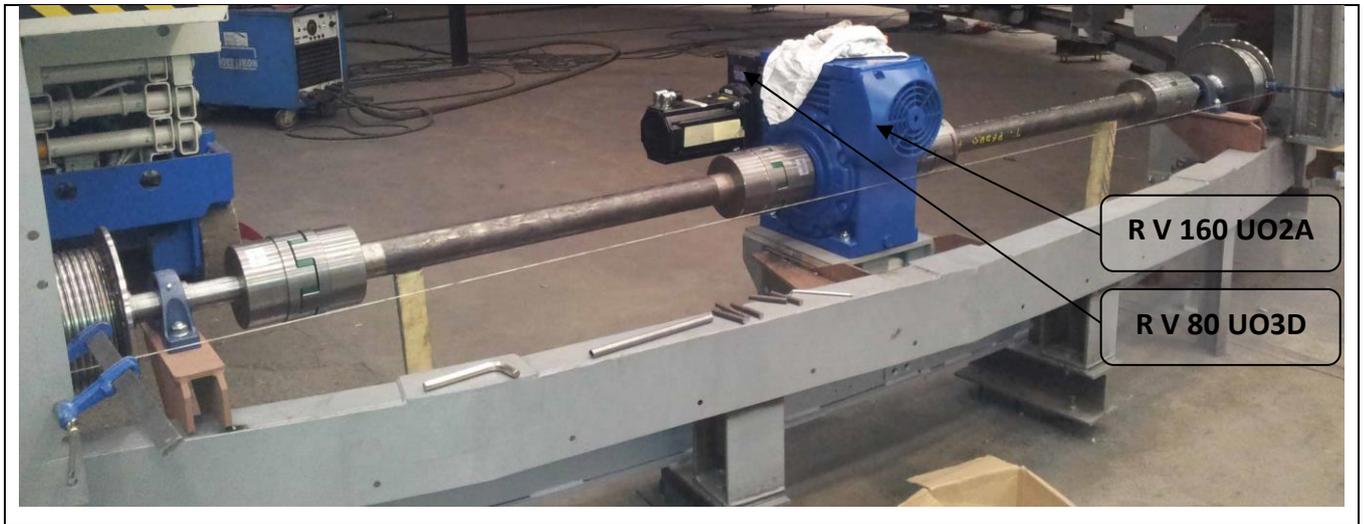


Fig. 2.3.1.1 – Imagen del sistema de cierre compuerta



Fig. 2.3.1.2 – Imagen del sistema de apertura compuerta

## Tabla de características reductoras cierre compuerta

	R V 160 UO2A	R V 80 UO3D
Índice de reducción	40	10
Índice reducción en conjunto	40 x 10 = 400	
Rendimiento dinámico	0,75	
Rendimiento estático	0,45. Esto implica que la reductora es irreversible	

Segunda entrada para accionamiento de emergencia

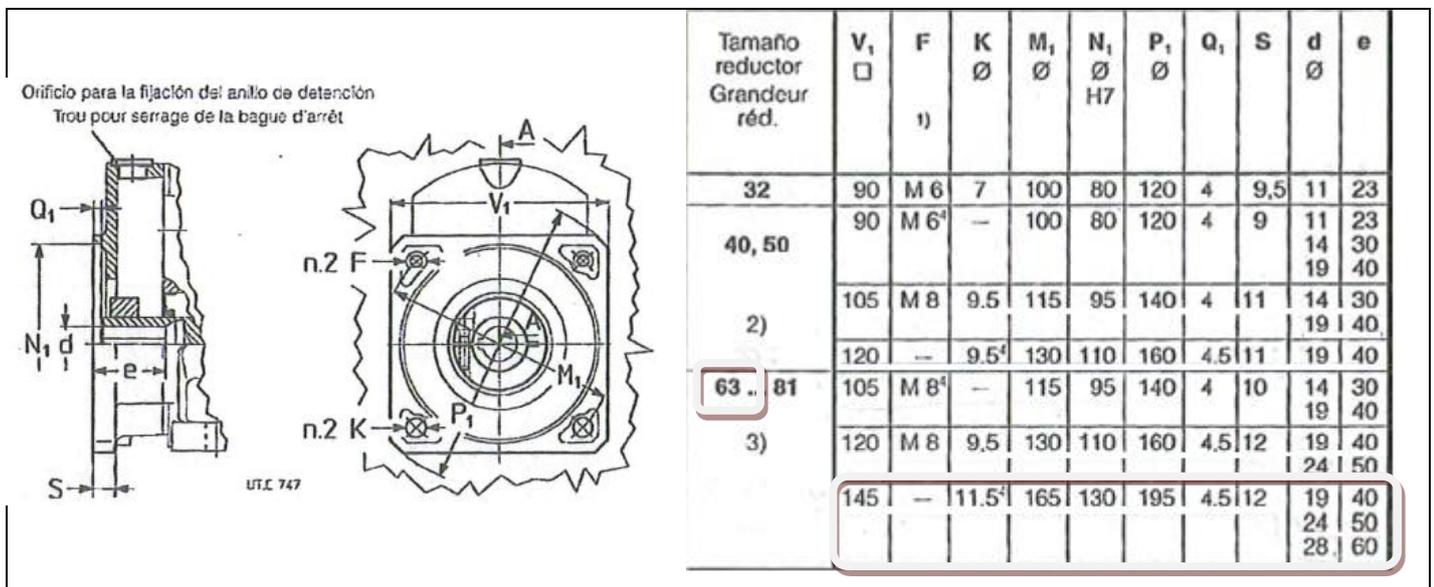
Brida de acoplamiento al servo tamaño 145. Parámetros a considerar en la elección del servo (según figura de abajo):

$V_1 = 145\text{mm}$  (longitud de la brida)

$M_1 = 165\text{mm}$  (distancia entre centros de los agujeros de acoplamiento)

$d = 19, 24, 28\text{mm}$  (diámetro eje salida servo)

$e = 40, 50, 60\text{mm}$  (longitud eje salida servo)



COTRANSA. Brida de acoplamiento entre la reductora y el servo

## Tabla de características reductoras apertura compuerta

	R V 100 UO2A	R V 50 UO3D
Índice de reducción	32	7
Índice reducción en conjunto	7 x 32 = 224	
Rendimiento dinámico	0,75	
Rendimiento estático	0,45. Esto implica que la reductora es irreversible	

Segunda entrada para accionamiento de emergencia

Brida de acoplamiento al servo tamaño 90. Parámetros a considerar en la elección del servo (según figura de abajo):

$V_1 = 90\text{mm}$  (longitud de la brida)

$M_1 = 100\text{mm}$  (distancia entre centros de los agujeros de acoplamiento)

$d = 11, 14, 19\text{mm}$  (diámetro eje salida servo)

$e = 23, 30, 40\text{mm}$  (longitud eje salida servo)

Orificio para la fijación del anillo de detención  
Trou pour serrage de la bague d'arrêt

UTL 747

Tamaño reductor Grandeur réd.	$V_1$ □	F 1)	K ∅	$M_1$ ∅	$N_1$ ∅ H7	$P_1$ ∅	$Q_1$	S	d ∅	e
32	90	M 6	7	100	80	120	4	9.5	11	23
40	90	M 6 <sup>2</sup>	—	100	80	120	4	9	11	23
2)	105	M 8	9.5	115	95	140	4	11	14	30
	120	—	9.5 <sup>4</sup>	130	110	160	4.5	11	19	40
63 ... 81	105	M 8 <sup>3</sup>	—	115	95	140	4	10	14	30
	120	M 8	9.5	130	110	160	4.5	12	19	40
	145	—	11.5 <sup>4</sup>	165	130	195	4.5	12	24	50
									19	40
									24	50
									28	60

COTRANSA. Brida de acoplamiento entre la reductora y el servo de apertura



## 2.3.2 Selección del accionamiento de cierre compuerta

Será accionado por un servomotor síncrono para realizar el control de posición angular de la compuerta.

En este caso se opta por servomotor por el compendio de varios criterios: velocidad de salida en régimen normal de trabajo, que debe ser en torno a 3.470, disponibilidad de pico de arranque, unificación de soluciones con accionamientos de giro azimutal.

Al igual que en el movimiento acimutal, uno de los criterios que han determinado la elección del servo ha sido la necesidad de ajustarse a las dimensiones de la brida de Cotransa tamaño 145 (para evitar recurrir a bridas no estandarizadas).

En este caso la opción de Beckhoff, es el servo AM3065-wNy0. El cambio de familia se debe al aumento de par necesario para poder realizar este movimiento.

	AM3065-wNy0	Brida Cotransa
$V_1$ = Longitud de la brida	130 mm	145 mm
$M_1$ = distancia entre centros de los agujeros de acoplamiento	165 mm	165 mm
d = diámetro eje salida servo	32 mm	19, 24, 28mm
e = longitud eje salida servo	55 mm	40, 50, 60mm

NOTA: Cotransa no monta el eje 28-60mm (aunque figura en el catálogo) por lo que pasamos a una configuración de eje 24-50mm.

Beckhoff ofrece la posibilidad de adaptar el eje de salida del servo a 24-50mm dando una solución específica para esta aplicación que se adapta a las necesidades.



Una de las especificaciones es que todos los movimientos tengan una referencia absoluta. En este caso, se opta por integrar un encoder absoluto en uno de los 2 servos. Este tipo de encoders pueden cubrir un rango de 4.096 vueltas de motor. El cálculo de vueltas de motor para realizar el movimiento de apertura/cierre es:

Recorrido lineal = 11.700mm

Diámetro del tambor de tracción = 245mm -> Perímetro =  $2 \cdot \pi \cdot R = 769,69\text{mm}$

Índice de reducción = 400

Número de vueltas de motor para hacer el recorrido =  $(11.700 / 769,69) \cdot 400 = 6.080$  vueltas

Como el resultado supera las 4.096 vueltas que puede cubrir un absoluto, se opta por poner un encoder relativo tipo resolver e instalar la referencia absoluta en el servo de apertura (con un índice de reducción menor, las vueltas de motor necesarias disminuyen).



## Tabla de características:

Referencia BH	AM3065-0N00
0	Eje liso de salida (opción estándar)
N	Tamaño bobinado
0	Encoder tipo resolver: relativo, multivuelta
0	Sin freno eléctrico
Drive de control	AX5125
Par estático	25 Nm
Par nominal	16 Nm
Velocidad nominal	3500 RPM
Corriente nominal	17,80 A
Momento de inercia	40.00 kg/cm <sup>2</sup>
	Cables de potencia y resolver prefabricados y conectorizados
	Rodamientos de bolas con una vida de 30.000 horas = L10h
	Eje liso salida de Ø28mm y 60mm de longitud

## Cálculos del conjunto servo + reductora

**BH AM3065-0N00 + Cotransa (R V 160 UO2A + R V 80 UO3D)**

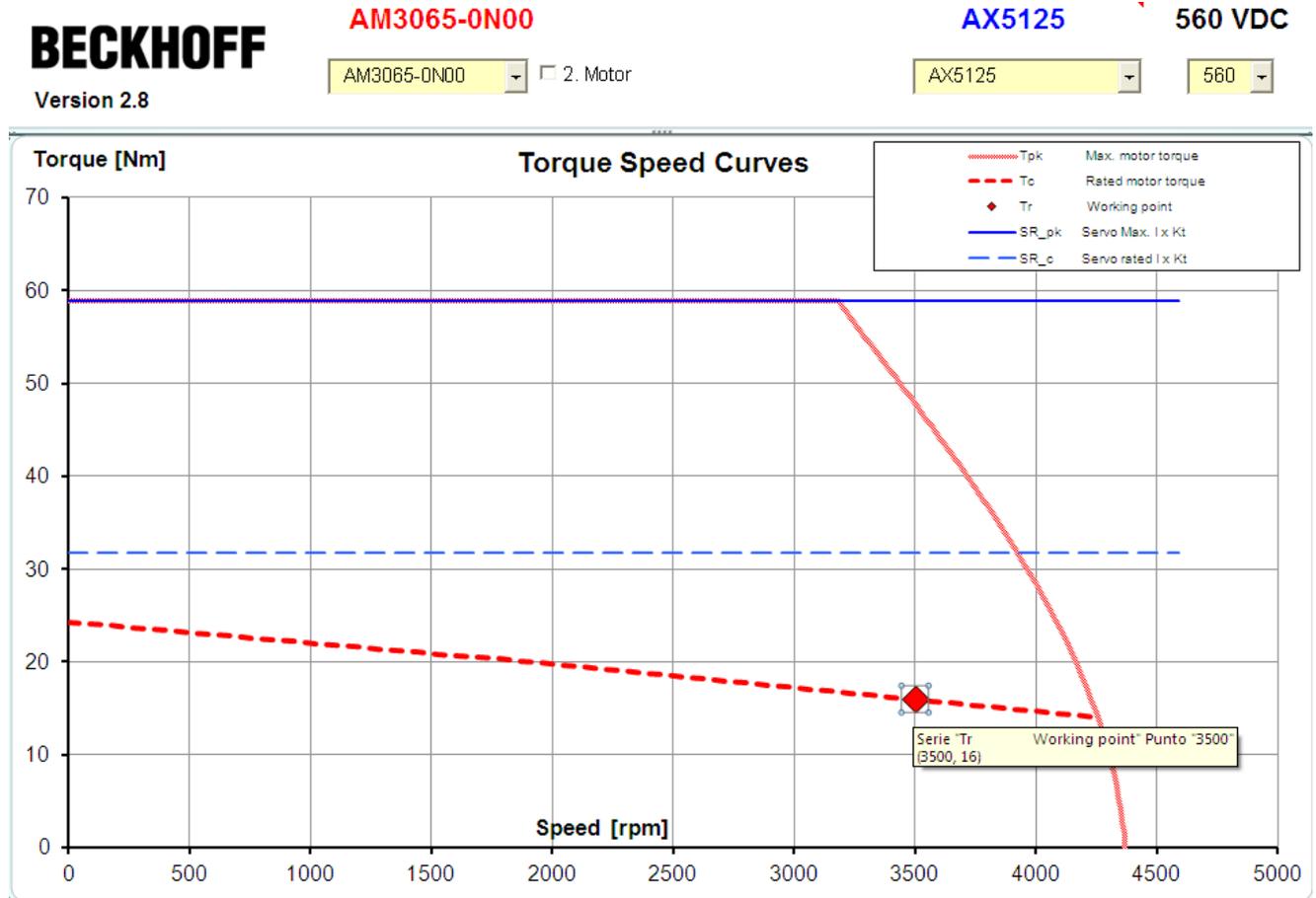
Par de salida nominal 3.500RPM:  $16\text{Nm} \times 40 \times 10 \times 0,75 = 4.800 \text{ Nm} (>4.646,14\text{Nm})$

Velocidad nominal a la salida de la reductora:  $3.500\text{RPM} / 400 = 8,75\text{RPM}$

Velocidad de operación del motor:  $8,68 \times 400 = 3.472,47\text{RPM}$



## Curva de par del servomotor



Curva de par del cierre compuerta. Señalado la velocidad nominal de operación



### 2.3.3 Selección del servodrive de cierre compuerta

El control se realizará por un Drive Beckhoff AX5125 con comunicación Ethercat con el PLC. La conexión con el servo se hace con 2 cables prefabricados, uno de potencia y otro para el resolver.

Referencia BH	AX5125
Intensidad nominal	25A (nominal del servo 17,8A)
Intensidad de pico	50A (durante 7 segundos)
Tensión	3 x 480 V AC +10 %
Pérdida de potencia	340W
BUS	EtherCAT
Peso	11.0 Kg
Cable potencia	ZK4500-0015-0250 (25 metros)
Cable resolver	ZK4531-8110-0250 (25 metros)



### 2.3.4 Selección del accionamiento de apertura compuerta

Será accionado por un servomotor síncrono para realizar el control de posición angular de la compuerta.

Uno de los criterios que han determinado la elección del servo ha sido la necesidad de ajustarse a las dimensiones de la brida de Cotransa tamaño 105 (para evitar recurrir a bridas no estandarizadas).

En este caso la opción de Beckhoff, es el servo AM8061-wJy0.

	<b>AM8053-0K40</b>	<b>Cotransa 90-105-120</b>
$V_1$ = Longitud de la brida	105 mm	90-105-120 mm
$M_1$ = distancia entre centros de los agujeros de acoplamiento	115 mm	100-115-130 mm
d = diámetro eje salida servo	24 mm	11, 14, 19 mm
e = longitud eje salida servo	50 mm	23, 30, 40 mm

Beckhoff ofrece la posibilidad de adaptar los ejes de salida del servo a 19-40mm dando una solución específica para esta aplicación que se adapta a las necesidades.



Tabla de características:

<b>Referencia BH</b>	<b>AM8053-0K40</b>
0	Eje liso de salida
K	Tamaño bobinado
4	Encoder absoluto multivuelta
0	Sin freno eléctrico
Drive de control	AX5112
Par estático	11,4 Nm
Par nominal	8,35 Nm
Velocidad nominal	4000 RPM
Corriente nominal	6,3 A
Momento de inercia	5.975 kg/cm <sup>2</sup>
	Cables de potencia y resolver prefabricados y conectorizados
	Rodamientos de bolas con una vida de 30.000 horas = L10h
	Eje liso salida de Ø19mm y 40mm de longitud

El servo llevará incorporado un encoder absoluto multivuelta. Esto permite conocer en todo momento la posición de la compuerta, incluso después de pérdidas de corriente, sin necesidad de realizar procedimientos de referenciado con detectores externos. De la misma manera, evita el integrar algún tipo de encoder externo absoluto, simplificando la instalación y su mantenimiento.

<b>Código encoder</b>	<b>y=4</b>
Tipo de encoder	Encoder absoluto multivuelta
Fabricante	Hengstler BiSS
SinCos ciclos	2048
Resolución	2,08x10 <sup>6</sup> (21 bits)
Opción multivuelta	4096 revoluciones (12 bits)
	Identificación electrónica de la placa de características



El cálculo de vueltas de motor para realizar el movimiento de apertura/cierre es:

Recorrido lineal = 11.700mm

Diámetro del tambor de tracción = 245mm -> Perímetro =  $2 \cdot \pi \cdot R = 769,69\text{mm}$

Índice de reducción = 224

Número de vueltas de motor para hacer el recorrido =  $(11.700 / 769,69) \cdot 224 = 3.405$  vueltas

## Cálculos del conjunto servo + reductoras

**BH AM8053-0K40 + Cotransa (R V 100 UO2A + R V 50 UO3D)**

Par de salida nominal:  $10\text{Nm} \times 32 \times 7 \times 0,75 = 1.680 \text{ Nm} (>1.604\text{Nm})$

Velocidad nominal a la salida de la reductora:  $4000\text{RPM} / 224 = 17,85\text{RPM}$

Velocidad de operación del motor:  $12,73 \times 224 = 2851,52\text{RPM}$

## Curva de par del servomotor



Curva de par de apertura compuerta. Señalado la velocidad nominal de operación del servo



### 2.3.5 Selección del servodrive de apertura compuerta

El control se realizará por un Drive Beckhoff AX5112 con comunicación Ethercat con la CPU, siguiendo la filosofía de cierre compuerta. En este caso la conexión con el servo será con la tecnología OCT – One Cable Technology:

Referencia BH	AX5112
Intensidad nominal	12A (nominal del servo 5,2A)
Intensidad de pico	26A (durante 7 segundos)
Tensión	3 x 480 V AC +10 %
Pérdida de potencia	160W
BUS	EtherCAT
Peso	5.0 Kg
Cable OCT	ZK4500-8024-0020 (2 metros potencia + encoder)

## 2.4 Movimiento del Windshield

El Wind Shield es una pantalla protectora del telescopio contra el aire principalmente. Cuando la compuerta esté abierta y el propio Wind Shield no interfiera en el ángulo de visión del telescopio, se subirá para proteger al telescopio del viento. El mecanismo de plegado y desplegado está compuesto por los siguientes componentes principales:

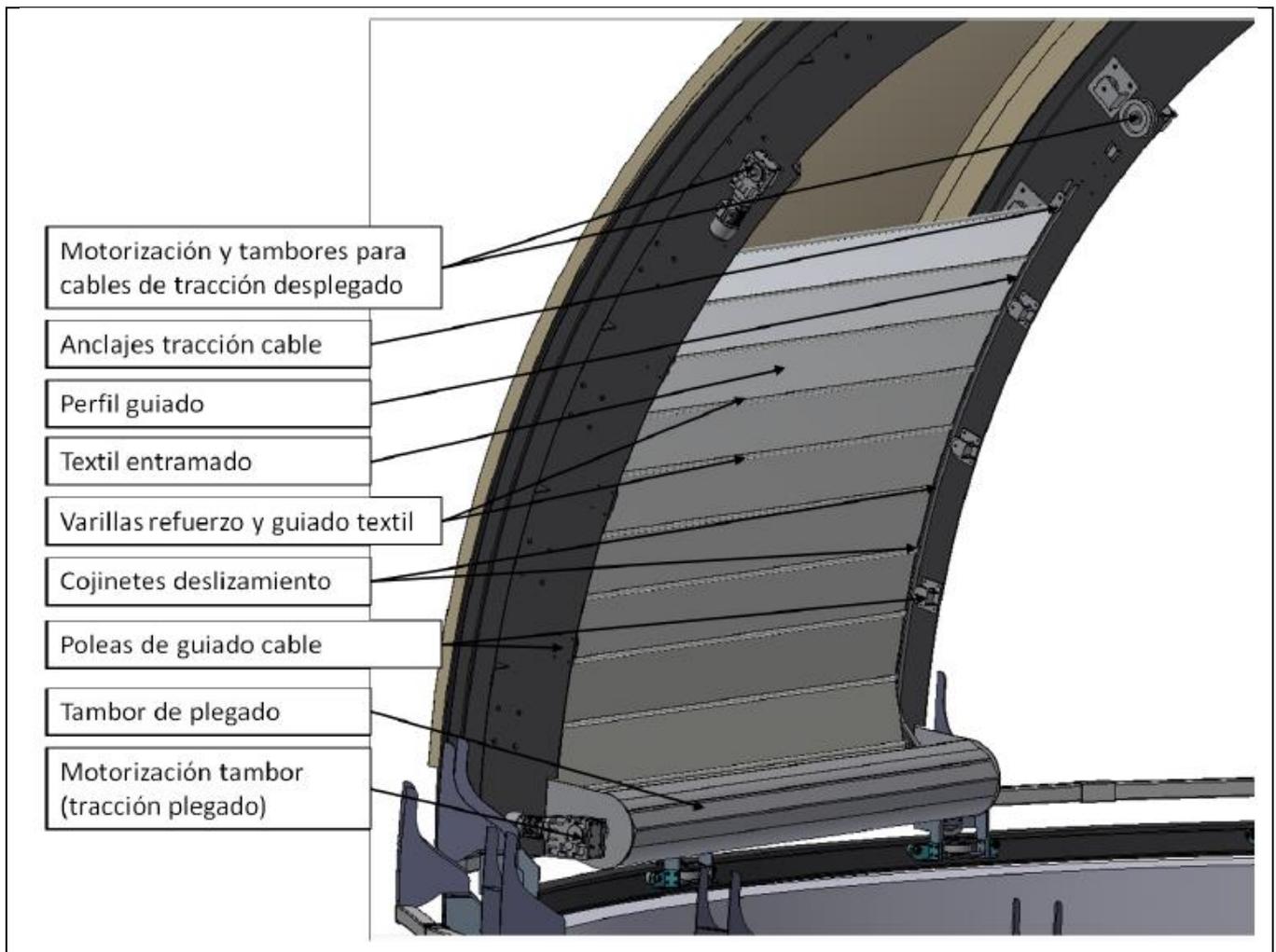


Fig. 2.4.1 – Componentes del Wind Shield



Las necesidades cinemáticas, calculadas en el proyecto mecánico, para el movimiento del Wind Shield de la cúpula son las siguientes:

<b>Variable</b>	<b>WSM01 Tambor inferior</b>	<b>WSM02 Tambor superior</b>	<b>WSM03 Tambor superior</b>	<b>Unidades</b>
Potencia	0,59	0,296	0,296	Kw
Par a la salida de la reductora	596,44	228,03	228,03	Nm
Velocidad de operación a la salida de la reductora	6,37	11,14	11,14	RPM
Velocidad máxima a la salida de la reductora	6,37	11,14	11,14	RPM
Diámetro tambor	350	200	200	mm



### 2.4.1 Tambores superiores del Wind Shield: selección del conjunto servo y reductor

Cada uno de los 2 tambores superiores será accionado por un servomotor síncrono acoplado a su eje de giro. A diferencia de los movimientos acimutal y cierre de compuerta, el Wind Shield no supone un peligro para la integridad del telescopio. Por lo tanto en este caso no se considera un movimiento de emergencia en ausencia de corriente eléctrica. Esto simplifica la elección del conjunto servo y reductora, siendo más estándar. El servo lleva incorporado un freno eléctrico y la reductora no necesita ser irreversible, por lo que se puede recurrir a sistemas que ofrecen mejores rendimientos estáticos y dinámicos, optimizando la energía.

Tabla de características:

Referencia BH	AM8053-0K21
0	Eje liso de salida
K	Tamaño bobinado
2	Encoder incremental multivuelta 1 cable para potencia y datos
1	Con freno eléctrico
Drive de control	AX5112
Par estático	11,4 Nm
Par nominal	8,35 Nm
Velocidad nominal	4000 RPM
Corriente nominal	6,3 A
Momento de inercia	5.975 kg/cm <sup>2</sup>
	Cables de potencia y resolver prefabricados y conectorizados
	Rodamientos de bolas con una vida de 30.000 horas = L10h

Los encoder integrados tiene como función el poder sincronizar el movimiento de ambos servos y evitar que se cruce el WS. Siendo que no es necesario conocer el grado de apertura del WS,



sino que se abrirá o cerrará completamente, es suficiente con que este encoder sea incremental. Se instalarán 2 finales de carrera para limitar el recorrido.

<b>Código encoder</b>	<b>Y=2</b>
Tipo de encoder	Encoder incremental
Fabricante	
Tensión de alimentación	
Pulsos por revolución	4.096
Resolución	16384 (14 bit)
Opción multivuelta	Si

<b>Referencia Reductora</b>	<b>VDS 063-MF1-28-041-BG</b>	
Índice de reducción	28	
Rendimiento	0,75	
Salida eje a 90º con respecto al eje del servo		



## VDS+063 1 etapa / i=28

		1 etapa					
Relación de transmisión	<i>i</i>	4	7	10	16	28	40
$n_{IN}=500$ 1/min	$T_{dMax}$ Nm	302	314	315	320	328	324
	$T_{dServo}$ Nm	198	210	225	221	229	226
	$\eta$ %	93	91	88	83	74	68
$n_{IN}=1000$ 1/min	$T_{dMax}$ Nm	264	284	290	298	304	301
	$T_{dServo}$ Nm	192	228	240	238	245	241
	$\eta$ %	94	93	91	86	78	73
$n_{IN}=2000$ 1/min	$T_{dMax}$ Nm	202	243	262	271	282	278
	$T_{dServo}$ Nm	174	212	230	238	248	243
	$\eta$ %	96	94	93	89	83	78
$n_{IN}=3000$ 1/min	$T_{dMax}$ Nm	164	190	202	209	235	231
	$T_{dServo}$ Nm	128	166	184	209	198	194
	$\eta$ %	96	95	94	91	85	81
$n_{IN}=4000$ 1/min	$T_{dMax}$ Nm	128	148	164	175	201	198
	$T_{dServo}$ Nm	104	132	152	175	165	162
	$\eta$ %	97	96	94	92	86	83
Par de parada de emergencia	$T_{dRef}$ Nm	460	484	491	494	518	447
Velocidad de entrada máx.	$n_{dMax}$ min <sup>-1</sup>	4500					
Par de pérdida por fricción medio <sup>4)</sup> (a $n_s=3000$ rpm y 20°C temperatura del reductor)	$T_{dLp}$ Nm	2,1	1,9	1,8	1,7	1,6	1,4
Juego torsional máx.	$j_t$ arcmin	≤3					
Rigidez torsional	$C_{Dz1}$ N/m/rad	28					
Fuerza axial máx. <sup>5)</sup>	$F_{dMax}$ N	8250					
Fuerza radial máx. <sup>5)</sup>	$F_{rMax}$ N	6000					
Momento de vuelco máx.	$M_{dMax}$ Nm	843					
Vida útil (véase el cálculo en el capítulo "Informaciones")	$L_b$ h	> 20000					
Peso (sin piezas de montaje del motor)	$m$ kg	15					
Ruido de funcionamiento (a $n_s=3000$ rpm sin carga)	$L_{PA}$ dB(A)	≤ 64					
Temp. máx. admisible de la carcasa	°C	+90					
Temperatura ambiente	°C	-15 a +40					
Lubricación		Aceite para engranajes sintético					
Pintura		Ninguna					
Sentido de rotación		Véanse las ilustraciones					
Clase de protección		IP 65					
Momento de inercia (referido a la entrada)	$J_s$ kgcm <sup>2</sup>	6,72	5,79	5,54	5,44	5,41	5,35

<sup>4)</sup> Los pares de pérdida por fricción se reducen durante el servicio  
<sup>5)</sup> Referido al centro del eje o de la brida de salida



## Cálculos del conjunto servo + reductoras

**BH AM8053-0K21 + VDS 063-MF1-28-041-BG**

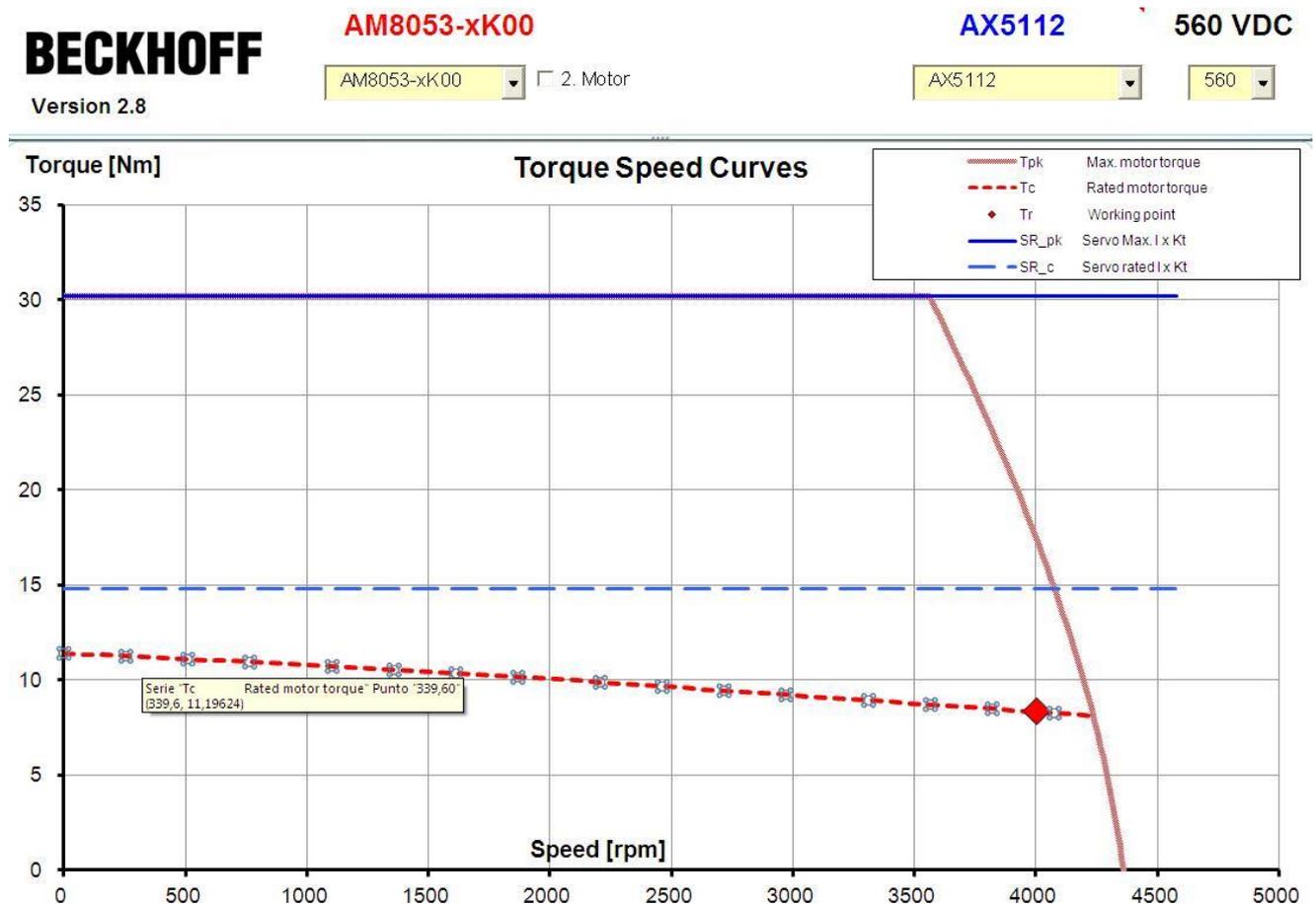
Par de salida nominal:  $8,35\text{Nm} \times 28 \times 0,75 = 175,35 \text{ Nm}$  (Par requerido  $228,03\text{Nm}$ )

Velocidad nominal a la salida de la reductora:  $4000\text{RPM} / 28 = 142,85\text{RPM}$  (Velocidad requerida  $11,14\text{RPM}$ )

Velocidad de operación del motor:  $11,14 \times 28 = 311,92\text{RPM}$

Par a la velocidad de operación  $340\text{RPM}$ :  $11,2\text{Nm} \times 28 \times 0,75 = 235,2\text{Nm}$  (Par requerido  $228,03\text{Nm}$ )

## Curva de par del servomotor



Curva de par WS superior. Señalado la velocidad de operación



### 2.4.2 Tambores superiores del Wind Shield: selección del servodrive

El control se realizará por dos Drives Beckhoff AX5112 con comunicación Ethercat con la CPU, siguiendo la siguiente filosofía:

- El Drive Maestro recibe la consigna de velocidad desde el control;
- Utiliza su encoder incremental para cerrar su propio lazo de control.
- Envía info al Drive del equipo esclavo para sincronizar el movimiento.

Referencia BH	AX5112
Intensidad nominal	12A (nominal del servo 6,3A)
Intensidad de pico	26A (durante 7 segundos)
Tensión	3 x 480 V AC +10 %
Pérdida de potencia	160W
BUS	EtherCAT
Peso	5.0 Kg
Cable potencia	ZK4500-8023-0250 + ZK4500-8023-0300 (25 metros + 30 metros)
Cable encoder	ZK4530-8010-0250 + ZK4530-8010-0300 (25 metros + 30 metros)



### 2.4.3 Tambor inferior del Wind Shield: selección del conjunto servo y reductor

Será accionado por un servomotor síncrono acoplado al eje de giro del tambor inferior.

<b>Referencia BH</b>	<b>AM8063-0N21</b>
0	Eje liso de salida
N	Tamaño bobinado
2	Encoder incremental multivuelta 1 cable para potencia y datos
1	Con freno eléctrico
Drive de control	AX5118
Par estático	29,0 Nm
Par nominal	13,2 Nm
Velocidad nominal	3000 RPM
Corriente nominal	8,1 A
Momento de inercia	29.870 kg/cm <sup>2</sup>
	Cable de potencia y resolver prefabricado y conectorizado
	Rodamientos de bolas con una vida de 30.000 horas = L10h

El encoder incremental se utiliza para cerrar su lazo de control velocidad/par y en previsión de la eventual necesidad de sincronizar con los servomotores del tambor superior.

<b>Referencia Reductora</b>	<b>VDS 100-MF1-40-071-BG</b>
Índice de reducción	40
Rendimiento	0,75
Salida eje a 90° con respecto al eje del servo	



## VDS+100 1 etapa / i=40

Relación de transmisión		i	1 etapa					
			4	7	10	16	28	40
n <sub>N</sub> =500 1/min	T <sub>2Max</sub>	Nm	1184	1336	1377	1392	1505	1376
	T <sub>2Servo</sub>	Nm	1155	1304	1343	1359	1469	1343
	η	%	95	93	91	87	80	76
n <sub>N</sub> =1000 1/min	T <sub>2Max</sub>	Nm	905	1070	1122	1140	1251	1162
	T <sub>2Servo</sub>	Nm	883	1044	1095	1113	1221	1134
	η	%	95	94	92	88	82	79
n <sub>N</sub> =2000 1/min	T <sub>2Max</sub>	Nm	595	748	807	830	930	883
	T <sub>2Servo</sub>	Nm	581	730	788	810	908	862
	η	%	96	95	94	91	86	82
n <sub>N</sub> =3000 1/min <sup>4)</sup>	T <sub>2Max</sub>	Nm	430	564	621	644	735	709
	T <sub>2Servo</sub>	Nm	420	551	606	629	718	692
	η	%	97	96	95	92	87	84
n <sub>N</sub> =3500 1/min	T <sub>2Max</sub>	Nm	-	-	-	-	-	-
	T <sub>2Servo</sub>	Nm	-	-	-	-	-	-
	η	%	-	-	-	-	-	-
Par de parada de emergencia	T <sub>2Not</sub>	Nm	1819	1932	1940	1955	2073	1856
Velocidad de entrada máx.	n <sub>Max</sub>	min <sup>-1</sup>	3500					
Par de pérdida por fricción medio <sup>4)</sup> (a n <sub>N</sub> =3000 rpm y 20°C temperatura del reductor)	T <sub>012</sub>	Nm	9,8	8,1	7,4	6,7	5,8	5
Juego torsional máx.	j <sub>t</sub>	arcmin	≤3					
Rigidez torsional	C <sub>D27</sub>	Nm/arcmin	153					
Fuerza axial máx. <sup>5)</sup>	F <sub>2AMax</sub>	N	19500					
Fuerza radial máx. <sup>6)</sup>	F <sub>2RMMax</sub>	N	14000					
Momento de vuelco máx.	M <sub>2RMMax</sub>	Nm	3059					
Vida útil (véase el cálculo en el capítulo "Información")	L <sub>h</sub>	h	> 20000					
Peso (sin piezas de montaje del motor)	m	kg	61					
Ruido de funcionamiento (a n <sub>N</sub> =3000 rpm sin carga)	L <sub>PA</sub>	dB(A)	≤ 70					
Temp. máx. admisible de la carcasa		°C	+90					
Temperatura ambiente		°C	-15 a +40					
Lubricación			Aceite para engranajes sintético					
Pintura			Ninguna					
Sentido de rotación			Véanse las ilustraciones					
Clase de protección			IP 65					
Momento de inercia (refiriendo a la entrada)	J <sub>i</sub>	kgcm <sup>2</sup>	65,59	56,20	54,30	55,17	52,71	53,04

<sup>4)</sup> Los pares de pérdida por fricción se reducen durante el servicio

<sup>5)</sup> Referido al centro del eje o de la brida de salida

<sup>6)</sup> En modo S1 reducir un 20%

## Cálculos del conjunto servo + reductoras

**BH AM8063-0N21 + VDS 100-MF1-40-071-BG**

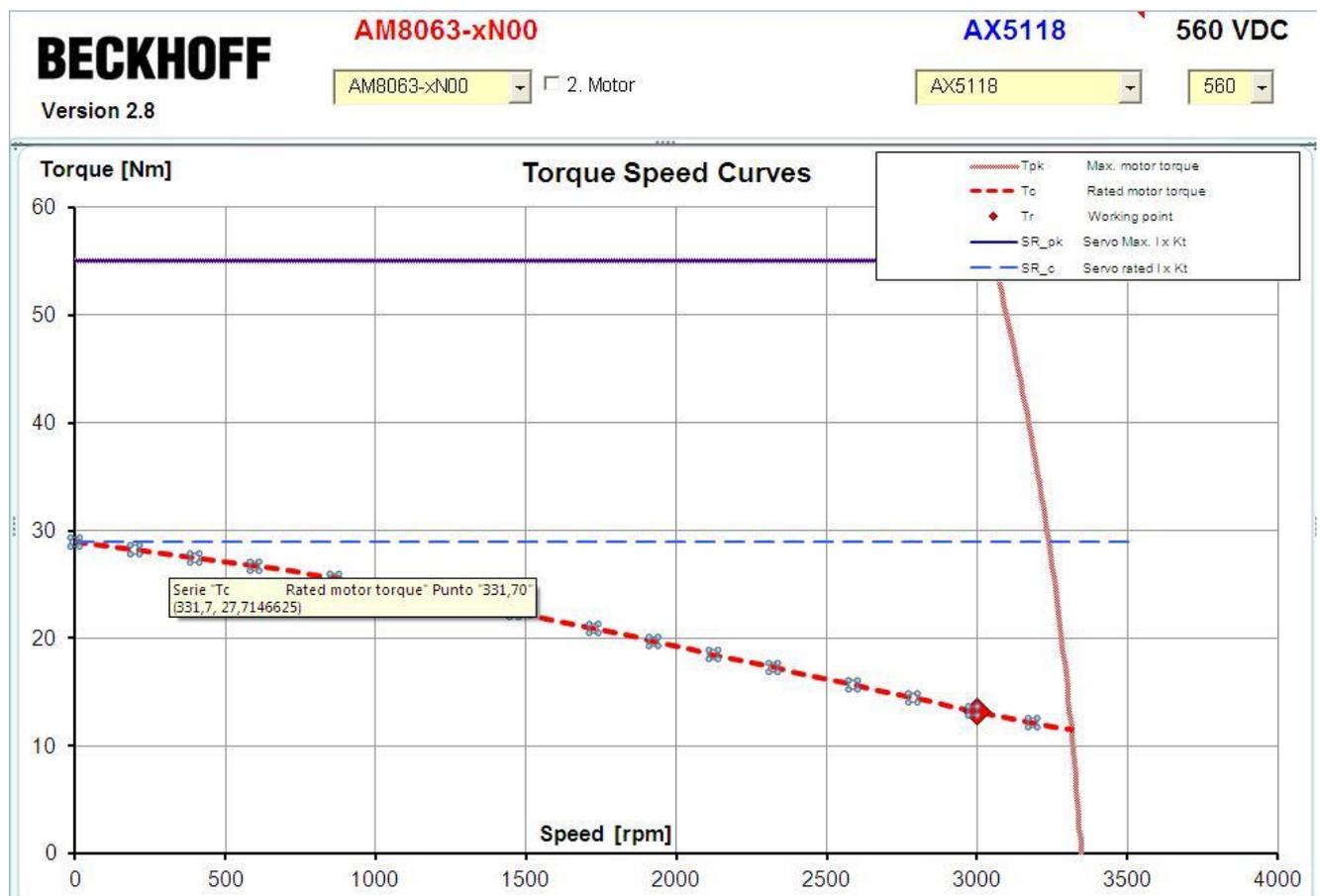
Par de salida nominal:  $13,2\text{Nm} \times 40 \times 0,75 = 396 \text{ Nm}$  ( Par requerido 798,10Nm)

Velocidad nominal a la salida de la reductora:  $3000\text{RPM} / 40 = 75\text{RPM}$  (Velocidad requerida 6,37RPM)

Velocidad de operación del motor:  $6,37 \times 40 = 254,8 \text{ RPM}$

Par a la salida de operación 260RPM:  $27 \text{ Nm} \times 40 \times 0,75 = 810\text{Nm}$  ( Par requerido 596,44Nm)

## Curva de par del servomotor



Curva de par WS inferior. Señalado la velocidad de operación



### 2.4.4 Tambor inferior del Wind Shield: selección del servodrive

El control se realizará por un Drive Beckhoff con comunicación Ethercat con la CPU, siguiendo la siguiente filosofía:

- El Drive recibe la consigna de velocidad/par desde el control;
- Utiliza su encoder incremental para cerrar su propio lazo de control.

<b>Referencia BH</b>	<b>AX5118</b>
Intensidad nominal	18A (nominal del servo 6,3A)
Intensidad de pico	36A (durante 7 segundos)
Tensión	3 x 480 V AC +10 %
Pérdida de potencia	255W
BUS	EtherCAT
Peso	11.0 Kg
Cable potencia	ZK4500-8023-0250 (25 metros)
Cable encoder	ZK4530-8010-0250 (25 metros)

## 2.4.5 Tambor inferior del Wind Shield: encoder absoluto

En un principio del desarrollo no se consideró el conocer el grado de apertura continuo del Wind Shield, siendo suficiente el instalar dos finales de carrera de recorrido, arriba y abajo. Pero finalmente se consideró el tener una referencia absoluta y continua para todos los movimientos. Como ya se había decidido el instalar los 3 servos con encoders relativos, se optó por instalar un encoder absoluto externo mutivuelta acoplado en el eje inferior, al otro lado del servo.

Aprovechando que el servodrive que controla este servo inferior lleva una segunda entrada de feedback, se seleccionó un encoder compatible para no tener que instalar un controlador adicional. Hiperface es uno de los protocolos compatibles y concretamente el fabricante SICK ofrece la referencia SFM60-HMAB0K02, que aparece en el hardware de configuración del servodrive en la lista de encoders compatibles.

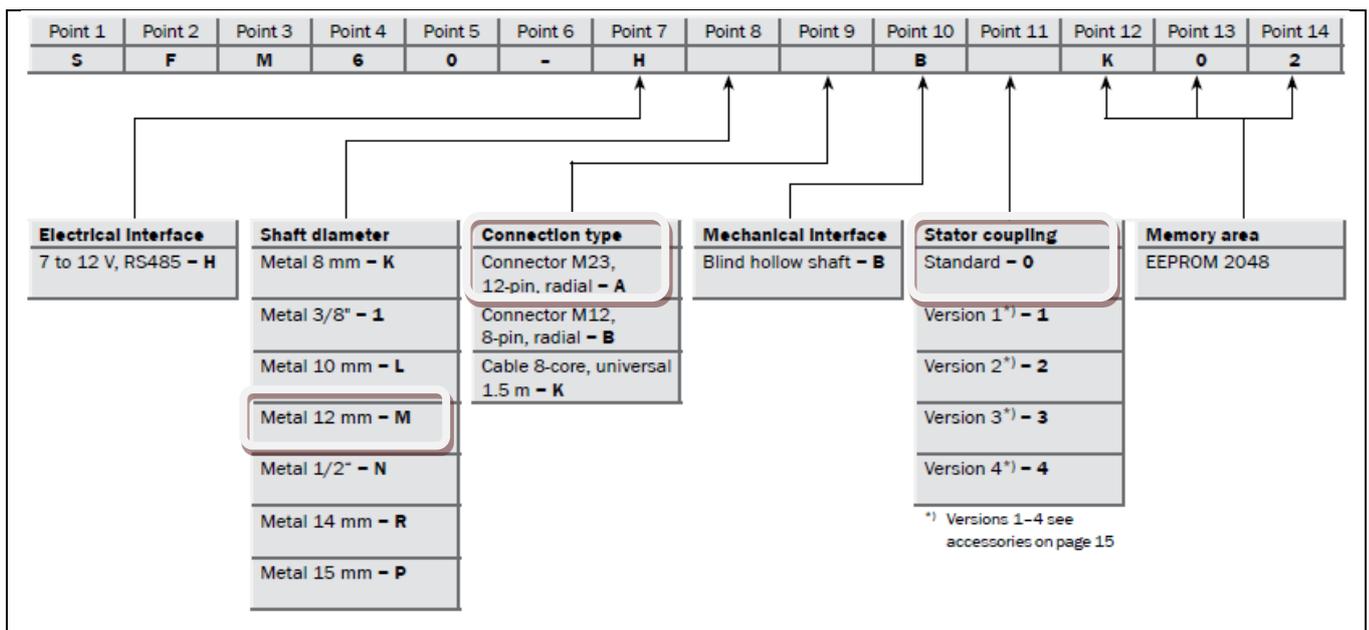


Fig. 2.4.5.1 – Tabla de selección del encoder SICK SFM60



Fig. 2.4.5.2 – SICK SFM60-HMAB0K02

Tabla de características:

<b>Referencia SICK</b>	SFM60-HMAB0K02
Número de periodos seno/coseno por vuelta	1.024
Número de vueltas absolutas	4.096
Protección	IP65
Alimentación	7 – 12 VDC
Protocolo	Hiperface
Conexionado	

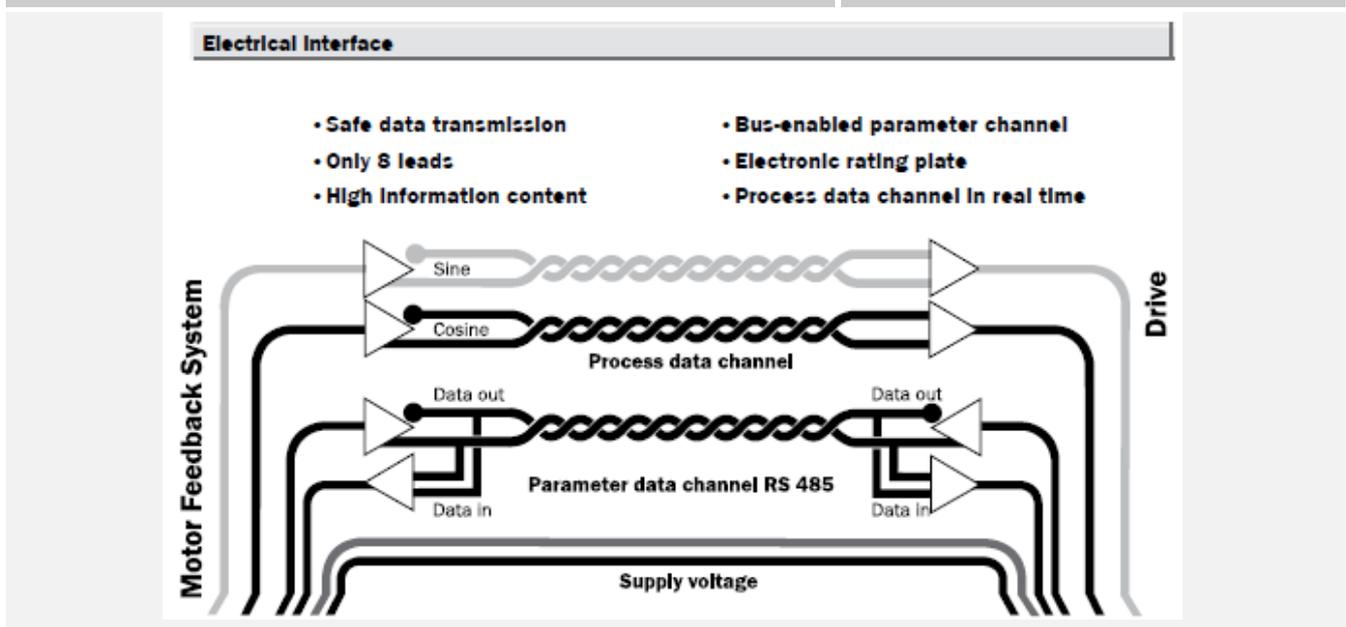




Fig. 2.4.5.3 – Instalación SICK SFM60-HMAB0K02

## 3 Descripción del equipamiento eléctrico y de control.

### 3.1 Esquema lógico de control

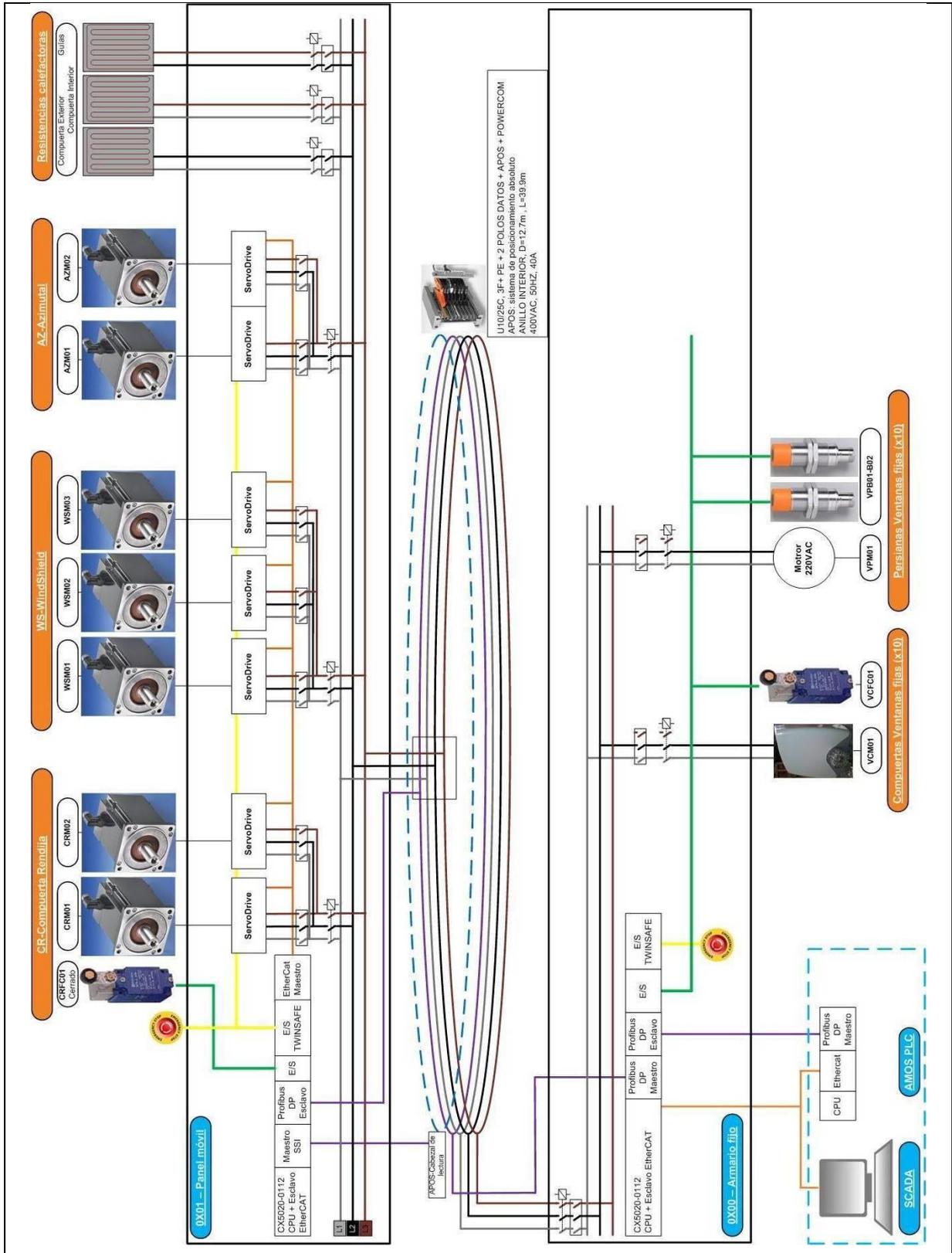


Fig. 3.1.1 – Esquema lógico de control

## 3.2 Vista global del PLC, control y visualización

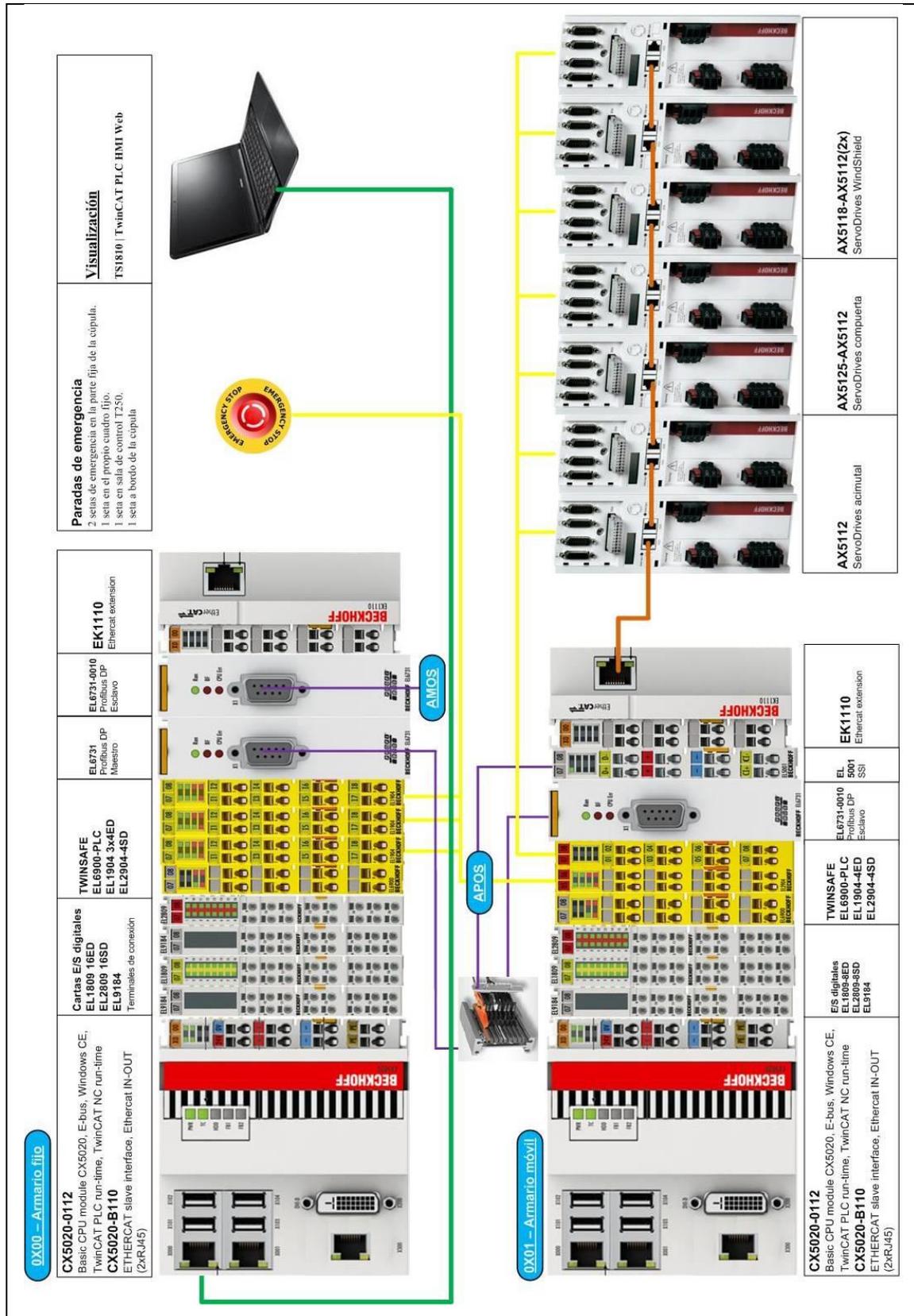


Fig. 3.2.1 – Vista global del PLC, control y sistema de visualización



### 3.3 0X00 Panel de control principal en la parte fija del edificio

Listado de materiales de PLC

Ref. Beckhoff	Descripción del material
CX5020-0112	Basic CPU module CX5020, E-bus, Windows CE, TwinCAT PLC run-time, TwinCAT NC run-time
CX1900-0204	1 GB DDR2 RAM for CX5020, instead of 512 MB DDR2 RAM; pre-assembled ex factory
CX5020-B110	EtherCAT slave interface, EtherCAT IN and OUT (2 x RJ 45)
EK1110	EtherCAT Master extensión: comunicación con servo drives
EL6731-0010	PROFIBUS slave terminal: comunicación con CPU Telescopio
EL6731	PROFIBUS Master terminal: comunicación con CPU parte móvil
EL1809	16-channel digital input terminal 24 V DC, filter 3.0 ms, type 3
EL2809	16-channel digital output terminal 24 V DC, 0.5 A, 1-wire system
EL9184	Potential distribution terminal, 8 x 24 V DC, 8 x 0 V DC
EL6900	TwinSAFE PLC
EL1904	4-channel digital input terminal, TwinSAFE, 24 V DC
EL2904	4-channel digital output terminal, TwinSAFE, 24 V DC, 0.5 A
ZB3100	Conector DB9 12 MBaud con Resistencia de fin de línea
ZX1090-9191-0005	Latiguillo Ethernet/Ethercat 0,5m
ZX1090-9191-0002	Latiguillo Ethernet/Ethercat 0,26m



### Listado de materiales del panel eléctrico

Fabricante	Referencia	Descripción
Rittal	CM5123.500	Envolvente y placa de montaje 1200 x 1200 x 400mm
Manumag	TA0023005400	Transformador de aislamiento monofásico 400VAC/230VAC 3KVA
Phoenix Contact	2866705	Fuente de alimentación 380VAC/24VDC 10 A - QUINT- PS/3AC/24DC/10
Vahle		*Ver apartado de "Sistema de carriles electrificados"
SCHNEIDER	ABR1S302B	RELE 24VCC 1NA/NC
SCHNEIDER	ABR1S402B	RELE 24VCC 2NA/NC
LEGRAND	4886	REPARTIDOR LEGRAND 4x125A 4886
SCHNEIDER	A9F79350	INTERRUPTOR AUTOMÁTICO 3x50A
SCHNEIDER	A9F79340	INTERRUPTOR AUTOMÁTICO 3x40A
SCHNEIDER	A9F79332	INTERRUPTOR AUTOMÁTICO 3x32A
SCHNEIDER	A9F78306	INTERRUPTOR AUTOMÁTICO 3x6A CURBA B
SCHNEIDER	A9F74201	INTERRUPTOR AUTOMÁTICO 2x1A
SCHNEIDER	A9F79110	INTERRUPTOR AUTOMÁTICO 1x10A
SCHNEIDER	A9A26924	CONT. AUX
SCHNEIDER	A9Q14225	VIGI 2x25/300mA
SCHNEIDER	LC1-D38BD	CONTACTOR 3x38A 24Vcc
SCHNEIDER	LC1-D40BD	CONTACTOR 3x40A 24Vcc



Fig. 3.3.1 – Vista topográfica del panel fijo principal OX00. 1200 x 1200 x 400mm



Los elementos a controlar y funciones a gestionar desde el panel 0X00 son:

- CPU principal con esclavo EtherCat integrado. Con este protocolo se servirán datos al Scada principal (no incluido en el alcance del presente proyecto).
- Las compuertas y persianas de las 10 ventanas fijas.
- Integración de las setas de emergencia:
  - 2 en planta telescopio, donde van las 10 ventanas;
  - 1 junto al propio cuadro 0X00;
  - 1 en la sala de control del telescopio y cúpula T250;
  - 1 a bordo de la cúpula.
- Terminal esclavo DP: encargado de intercambiar información con el PLC telescopio (encargado del control del telescopio) a través del protocolo Profibus DP.
- Dar acometida eléctrica al panel 0X01 a bordo de la cúpula.
- El Maestro Profibus DP (esclavo EtherCAT) cumple con dos propósitos:
  - La función TwinSafe PLC, a través de entradas de seguridad, recibe las paradas de emergencia. Estas señales serán enviadas por Profibus DP al otro controlador TwinSafe situado en el armario móvil (a bordo de la cúpula) para realizar una parada segura de los accionamientos controlados.
  - Se usará para transmitir las consignas recibidas por el PLC telescopio a los accionamientos situados en la parte móvil.
- La visualización local de la cúpula se llevará a cabo mediante el sistema desarrollado por Beckhoff TS1810: TwinCAT PLC HMI Web. La CPU es un servidor WEB y cualquier equipo que se conecta a su toma RJ45 podrá tener acceso a las pantallas alojadas en dicho servidor.

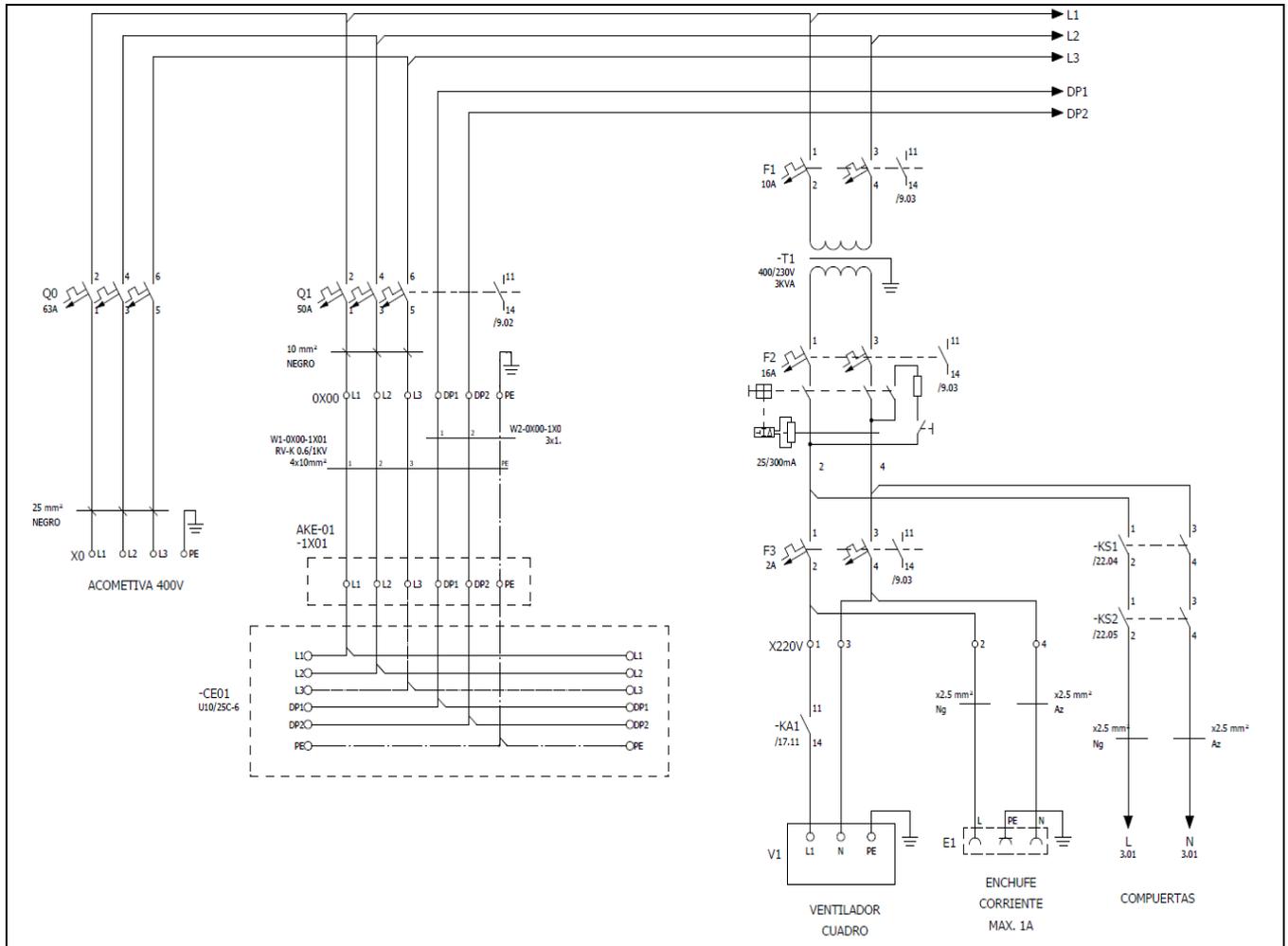


Fig. 3.3.2 – Acometida panel general y remoto. Transformador 400VAC / 230VAC



## 3.4 0X01 Panel de control remoto a bordo de la cúpula

Listado de materiales de PLC

Referencia	Descripción del material
------------	--------------------------

**Beckhoff**

CX5020-0112	Basic CPU module CX5020, E-bus, Windows CE, TwinCAT PLC run-time, TwinCAT NC run-time
-------------	---

CX1900-0204	1 GB DDR2 RAM for CX5020, instead of 512 MB DDR2 RAM; pre-assembled ex factory
-------------	--

CX5020-B110	EtherCAT slave interface, EtherCAT IN and OUT (2 x RJ 45)
-------------	---

EL6731-0010	PROFIBUS slave terminal: comunicación con CPU armario fijo
-------------	--

EK1110	EtherCAT Master extensión: comunicación con servo drives
--------	--

EL5001	1-channel SSI encoder interface: comunicación con encoder externo acimutal
--------	--

EL1809	16-channel digital input terminal 24 V DC, filter 3.0 ms, type 3
--------	--

EL2809	16-channel digital output terminal 24 V DC, 0.5 A, 1-wire system
--------	--

EL9184	Potential distribution terminal, 8 x 24 V DC, 8 x 0 V DC
--------	--

EL6900	TwinSAFE PLC
--------	--------------

EL2904	4-channel digital output terminal, TwinSAFE, 24 V DC, 0.5 A
--------	---

ZB3100	Conector DB9 12 MBaud con Resistencia de fin de línea
--------	---

ZX1090-9191-	Latiguillo Ethernet/Ethercat 0,5m
--------------	-----------------------------------

0005

ZX1090-9191-	Latiguillo Ethernet/Ethercat 0,26m
--------------	------------------------------------

0002



### Listado de materiales del panel eléctrico

Fabricante	Referencia	Descripción
Rittal	CM5123.500	Envolvente y placa de montaje 1200 x 1200 x 400mm
Manumag	TA001255400	Transformador de aislamiento monofásico 400VAC/230VAC 250VA
Phoenix Contact	2866705	Fuente de alimentación 380VAC/24VDC 10 A - QUINT- PS/3AC/24DC/10
Vahle		*Ver apartado de "Sistema de carriles electrificados"
SCHNEIDER	ABR1S302B	RELE 24VCC 1NA/NC
SCHNEIDER	ABR1S402B	RELE 24VCC 2NA/NC
LEGRAND	4886	REPARTIDOR LEGRAND 4x125A 4886
SCHNEIDER	A9F79350	INTERRUPTOR AUTOMÁTICO 3x50A
SCHNEIDER	A9F79340	INTERRUPTOR AUTOMÁTICO 3x40A
SCHNEIDER	A9F79332	INTERRUPTOR AUTOMÁTICO 3x32A
SCHNEIDER	A9F78306	INTERRUPTOR AUTOMÁTICO 3x6A CURBA B
SCHNEIDER	A9F74201	INTERRUPTOR AUTOMÁTICO 2x1A
SCHNEIDER	A9F79110	INTERRUPTOR AUTOMÁTICO 1x10A
SCHNEIDER	A9A26924	CONT. AUX
SCHNEIDER	A9Q14225	VIGI 2x25/300mA
SCHNEIDER	LC1-D38BD	CONTACTOR 3x38A 24Vcc
SCHNEIDER	LC1-D40BD	CONTACTOR 3x40A 24Vcc



Las funcionalidades integradas en este panel son:

- CPU con protocolo esclavo Ethercat. Aunque no se use en este caso, se hace así para estandarizar con la CPU del armario fijo.
- Terminal esclavo Profibus DP para recibir información de la CPU del armario fijo.
- Terminal maestro Ethercat para comunicar y controlar los servodrive del movimiento acimutal, compuerta y WindShield.
- Terminal maestro SSI para comunicar con el encoder absoluto del movimiento acimutal.
- Entradas / Salidas digitales: finales de carrera de recorrido para el movimiento de la compuerta y Windshield. Control de protecciones y contactores de potencia de los drives.
- Los movimientos controlados por este armario serán:
  - Giro acimutal.
  - Apertura y cierre de la compuerta.
  - Apertura y cierre del WindShield.
- Los ServoDrives llevarán en cabecera un contactor encargado de cortar alimentación cuando sus correspondientes servos no se vayan a utilizar en un periodo de tiempo razonable. Con esto se tratará de evitar al máximo la emisión de calor al interior de la cúpula.
- Controlador TwinSafe PLC. Mediante una carta de salidas seguras se encargará de realizar una parada segura de los drives, los cuales llevarán integrada una carta AX5801.

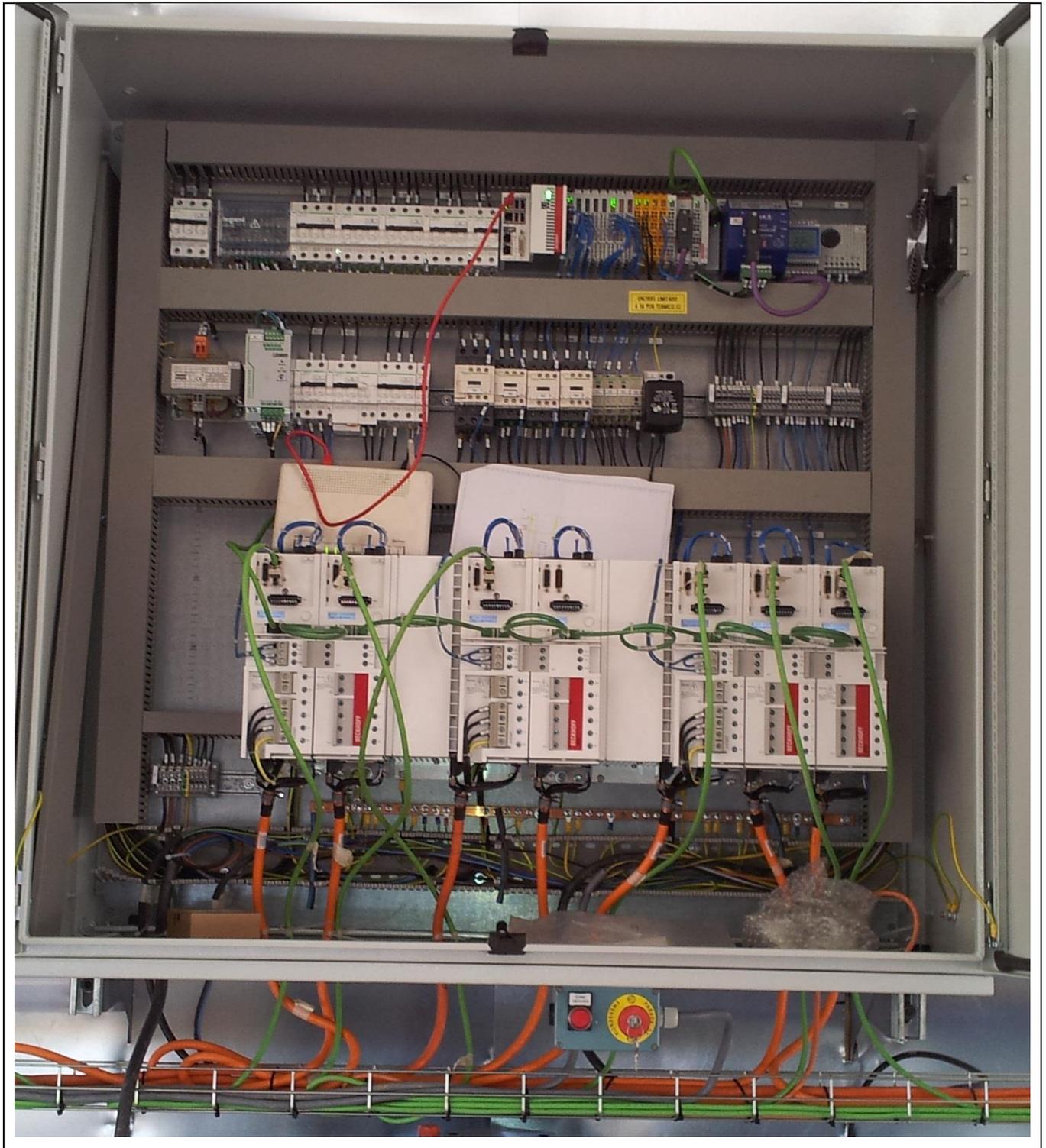


Fig. 3.4.1 – Vista topográfica del panel fijo principal OX01. 1200 x 1200 x 400mm

### 3.5 PLC: controlador lógico

Todo el control de la instalación se centraliza en 2 sistemas PLC's basados en una configuración Beckhoff. Como ya se ha mostrado, el primero se instala en el panel 0X00 (planta 2 del edificio) y el segundo en el panel 0X01 a bordo de la cúpula. Se ha intentado estandarizar a la hora de definir las referencias, con las ventajas que conlleva para el mantenimiento de la instalación.

Para ambos paneles, se pueden enumerar los siguientes puntos fundamentales:

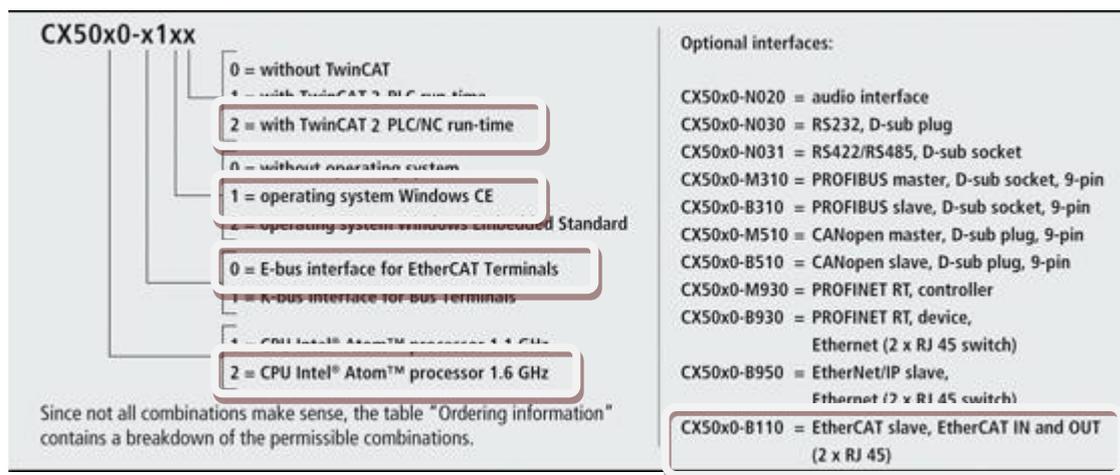
#### 3.5.1 CPU

En un principio y por los sistemas a controlar se podría pensar en usar una única CPU en la parte fija. Pero el hecho de que los servodrive están a bordo de la cúpula hace necesario la existencia de una CPU a bordo para poder realizar la comunicación a través de Ethercat con la velocidad de intercambio necesaria. También es necesario por el intercambio de datos que se realiza a través de profibus DP por el carril electrificado y para el intercambio de información con el telescopio.

Una vez establecida la necesidad de instalar 2 CPU's, la que más recursos necesita es la que va a bordo de la cúpula, por lo que es la que marca esta selección.

Debido a la necesidad de controlar ejes NC Motion la familia seleccionada es CX5020, basada en un PC embebido con un procesador Intel Atom de 1,6GHz.

La tabla de selección de la CPU se muestra a continuación:



- CX5020-0112:
  - CPU módulo CX5020,
  - E-bus,
  - Sistema operativo: Microsoft Windows CE 6 ,
  - TwinCAT PLC run-time,
  - TwinCAT NC run-time: necesario para realizar el control de los servodrivres a través de las librerías incorporadas;
- CX5020-B110:
  - EtherCAT interface esclavo necesario para enviar información a un Scada externo (no incluido en el alcance de la presente),
  - EtherCAT IN and OUT (2 x RJ 45).
- CX1900-0204: 1 GB DDR2 RAM para CX5020, como ampliación a los 512 MB DDR2 RAM de fábrica.

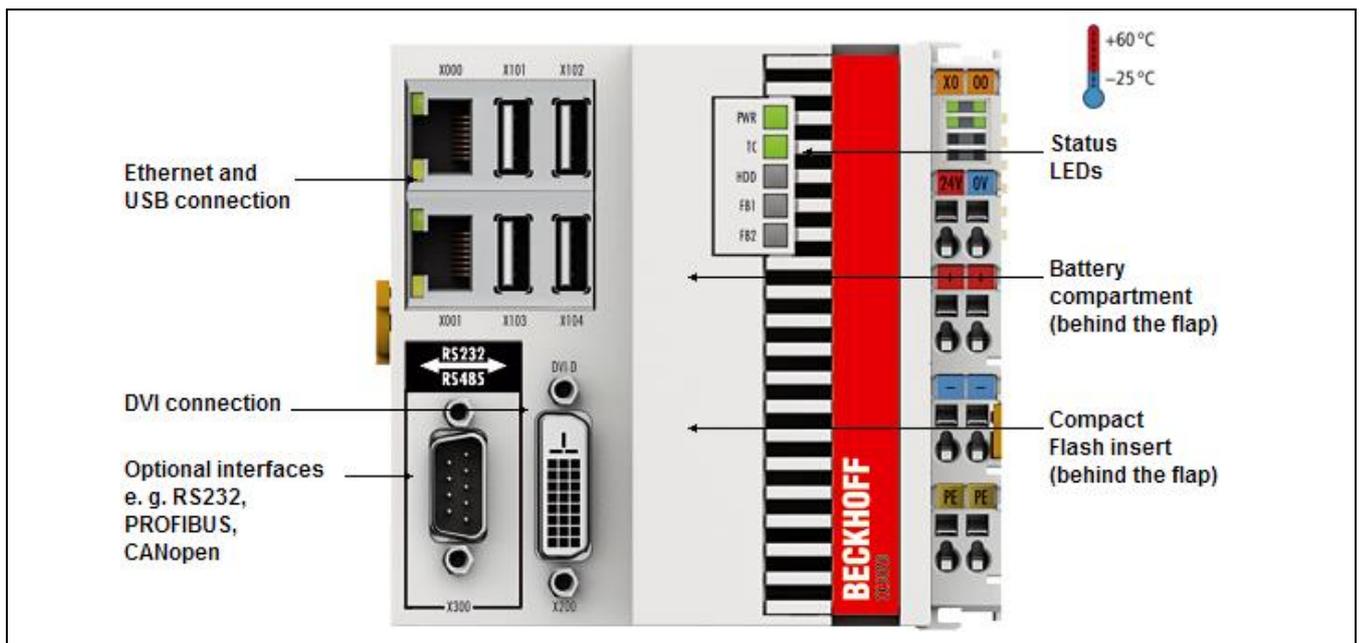


Fig. 3.5.1.1 – CPU CX5020-0112

El programa de PLC puede ser escrito en uno o más lenguajes descritos en el estándar IEC 61131-3:

- IL (Instruction List): lista de instrucciones,
- LD (Ladder Diagram): diagrama de contactos o en escalera,
- FBD/CFC (Function Block Diagram): bloque de función,
- SFC (Sequential Function Chart): diagrama secuencial,
- ST (Structured Text): texto estructurado.

### 3.5.2 Tarjetas de entradas y salidas digitales

Necesarias para hacer llegar las señales de los paneles eléctricos y de campo a la CPU. La carta de entradas digitales seleccionada tiene como referencia EL1809 y consta de 16 ED de 24 VDC.

Básicamente se encargan de recoger las señales de:

- Interruptores automáticos generales;
- Protecciones magnetotérmicas de los motores;
- Sensores inductivos de recorrido de las persianas;
- Finales de carrera de recorrido de las compuertas de las ventanas fijas;
- Pulsadores de rearme de emergencia.

La carta de salidas digitales seleccionada tiene como referencia EL2809 y consta de 16 SD de 24 VDC 0,5A. Básicamente se encargan de controlar:

- Contactores generales;
- Pilotos de emergencia y avería;
- Contactores de los motores

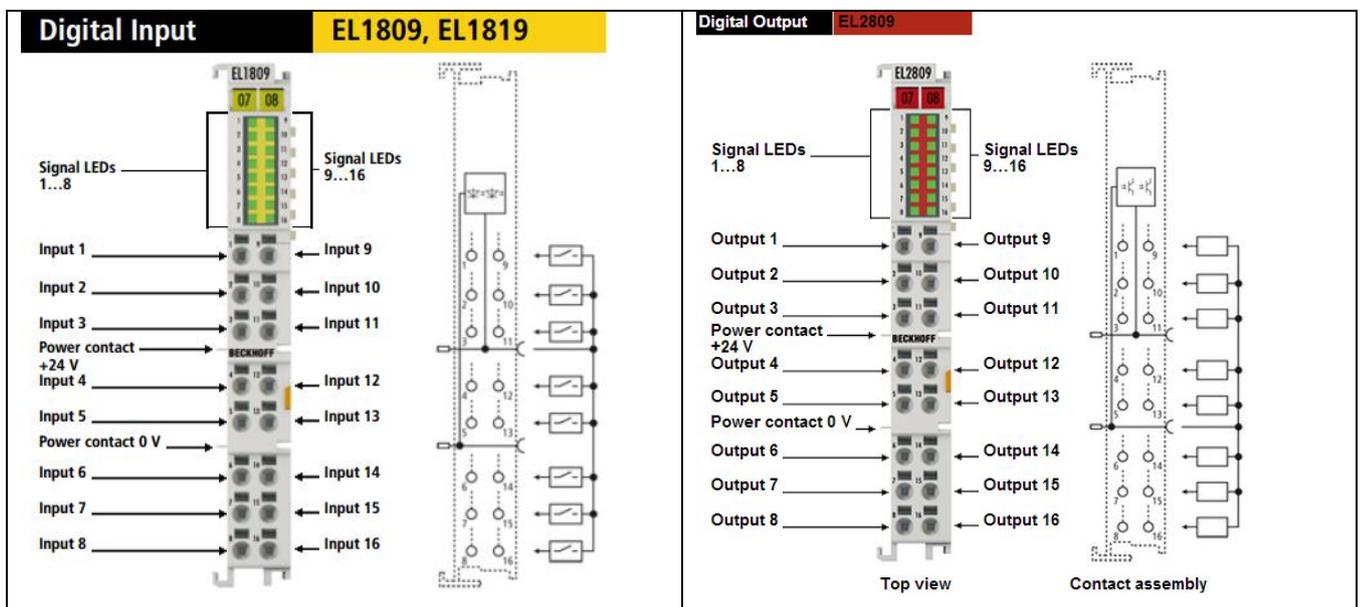
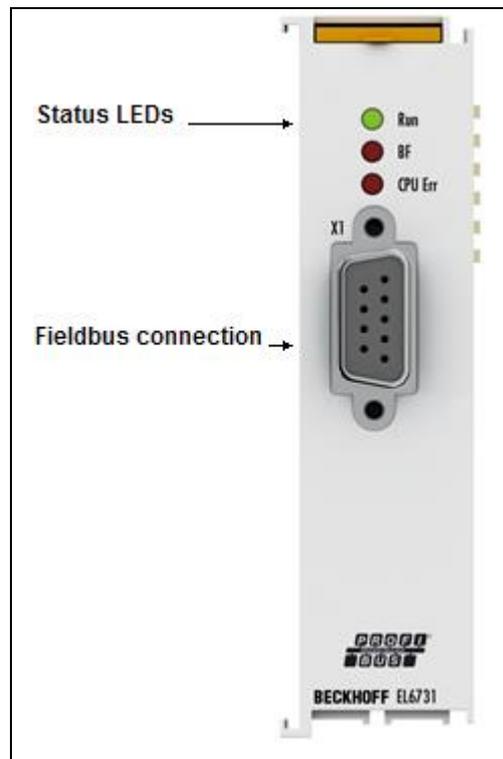


Fig. 3.5.2.1 – Tarjeta de 16 ED(EL1809) y tarjeta de 16 SD (EL2809)

### 3.5.3 Tarjetas de comunicación

Las comunicaciones que se requieren son las siguientes:

1. Interconexiones con el PLC del telescopio. Este intercambio de datos se realiza a través del protocolo de campo estándar Profibus DP. El telescopio incorpora un maestro Profibus DP, lo que hace necesario instalar un esclavo en el panel fijo 0X00. La referencia de esta tarjeta es EL6731-0010. La comunicación con la CPU CX5020 se realiza a través del bus incorporado EtherCat por lo que se inserta directamente como ampliación de la CPU.



2. Interconexiones entre las 2 CPU's propias. Este intercambio de información se realiza también a través de Profibus DP. Esto implica poner una tarjeta maestra de profibus en el panel fijo 0X00 y una tarjeta esclava profibus en el panel a bordo de la cúpula 0X01. Este profibus pasa a través del carril electrificado descrito en el punto "3.6.2 – Sistema de carriles electrificados" con una velocidad de transmisión de 187,5 kbps.
  - a. Panel 0X00: maestro profibus EL6701
  - b. Panel 0X01: esclavo profibus EL6701-0010

3. Comunicación con el encoder absoluto del movimiento acimutal. La cabeza lectora del encoder absoluto del carril acimutal manda la posición a través del protocolo SSI. Para recibir esta información se instala una tarjeta EL5001, que permite conectarlo directamente.

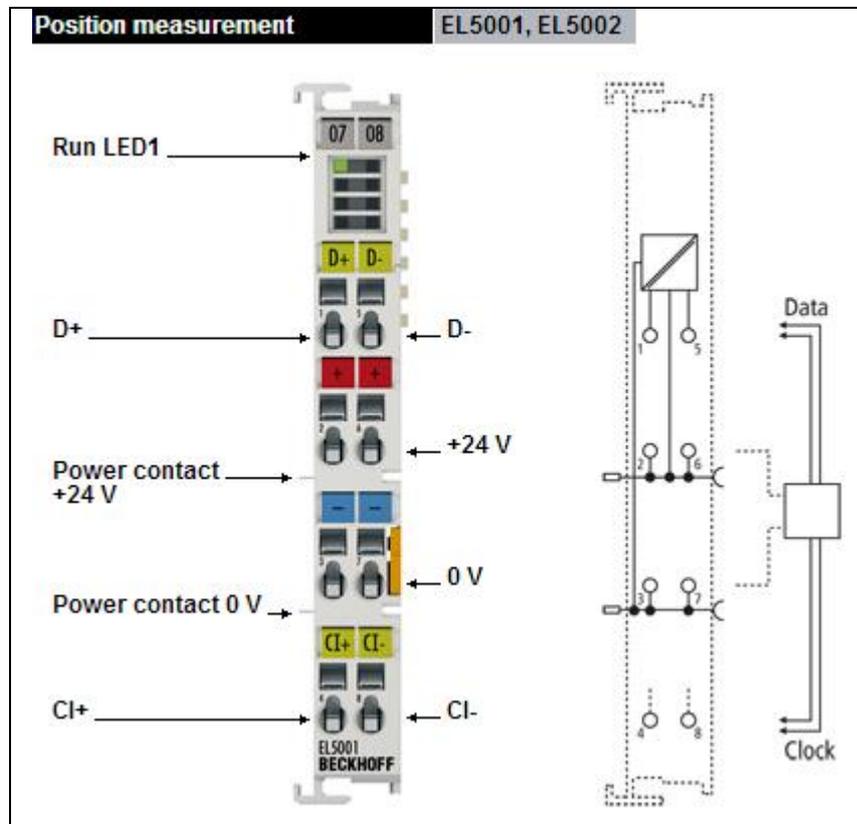


Fig.3.5.3.2 – Tarjeta encoder SSI



### 3.5.4 PLC de seguridad

Se necesita cumplir con los siguientes requisitos de seguridad:

1. Recopilar el estado de las setas de emergencia repartidas en la instalación.
2. Gestionarlas de manera segura para quitar potencia a los elementos que implican movimiento cuando alguna esté accionada.
3. Intercambio de emergencias entre la parte fija y móvil a través de profibus DP.

Se puede recurrir a los convencionales relés de seguridad para recoger el estado y rearme de las setas, pero esto complica mucho el poder pasar de manera segura las emergencias entre los dos paneles. Esta es una de las razones que lleva a integrar un PLC de seguridad, ya que permite realizar una transferencia segura de datos a través de EtherCat hasta la tarjeta Profibus, transferirlos por el profibus del carril electrificado y de esta manera llegar a la otra CPU. Además la solución es mucho más flexible a la hora de incorporar y combinar las señales existentes y posibles ampliaciones.

TwinSAFE permite formar redes con hasta 1.024 dispositivos TwinSAFE. El TwinSAFE PLC puede establecer 128 conexiones a otros dispositivos TwinSAFE. Múltiples PLCs TwinSAFE pueden integrarse en cascada dentro de una red. La Terminal EtherCAT ofrece bloques de funciones de seguridad certificados, los cuales están configurados de acuerdo a la aplicación a realizar. Las funciones de seguridad como parada de emergencia, control de puertas de seguridad, control "hombre muerto", etc. pueden por lo tanto ser fácilmente seleccionados y vinculados. Todos los bloques se pueden conectar libremente entre sí y se complementan con operadores como AND, OR, etc. Las funciones necesarias se configuran a través del Administrador hardware TwinCAT System y cargados en el EL6900 TwinSAFE PLC a través del bus de campo. El EL6900 es adecuado para aplicaciones hasta SIL 3 según IEC 61508 y DIN EN ISO 13849 PL.

La distribución del PLC de seguridad en ambos paneles es:

- Panel fijo 0X00
  - EL6900: controlador de TwinSAFE. Es una CPU específica para controlar las labores de seguridad;
  - 4 x EL1904: tarjeta de 4 entradas seguras. Con esto se recogen 2 setas de emergencia con doble canal de seguridad por tarjeta;



- EL2904: tarjeta de 4 salidas seguras. Activan 2 contactores principales que cortan la potencia de los 20 motores que mueven las persianas y compuertas de las ventanas fijas.
- Panel móvil 0X01
  - EL6900: controlador de TwinSAFE.
  - EL2904: tarjeta de 4 salidas seguras. A través de una salida segura se alimentan las bobinas de las cartas de seguridad de los servodrive, de tal manera que en su ausencia, el drive corta potencia el servo.
  - EL1904: tarjeta de 4 entradas seguras. Se utiliza para recoger la realimentación de las cartas de seguridad de los servodrive.
  - AX5801.0200: tarjeta opcional de seguridad para los servodrive.

### 3.5.5 Sistema de visualización

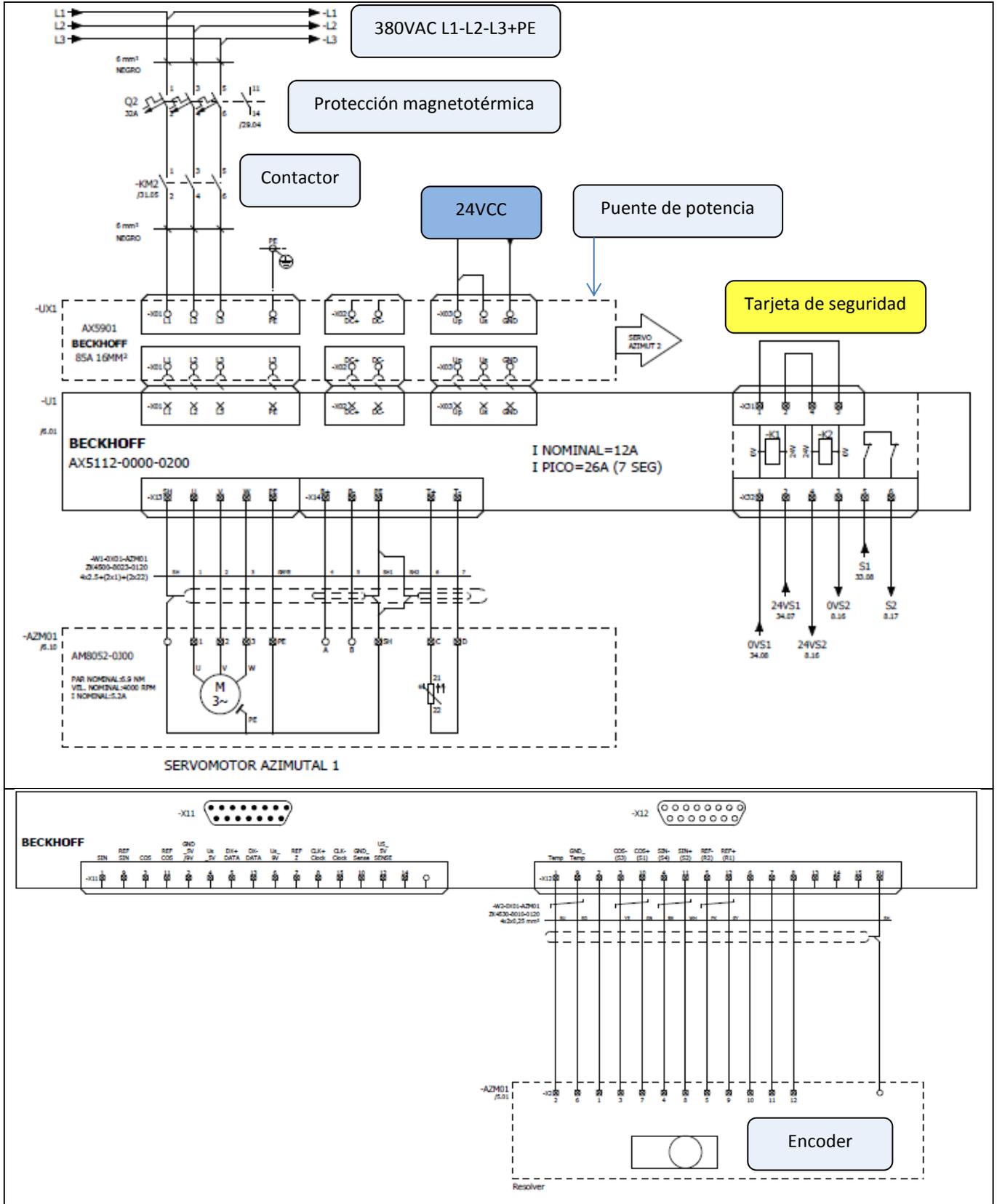
El sistema de visualización y explotación será ejecutado desde un sistema Scada externo. A través del puerto EtherCat integrado en la CPU se servirá la información y se recibirán las consignas y comandos.

Por especificaciones del cliente, no se puede hacer uso de pantallas HMI que puedan emitir luz perjudicial para la observación del telescopio. Para disponer de una herramienta de explotación para la puesta en servicio se hace uso de las propias pantallas que la aplicación de desarrollo del PLC incluye, TWINCAT PLC HMI CE.

Además de esta herramienta de visualización, la CPU dispone de una visualización como Web Server: TWINCAT PLC HMI WEB. Es un sistema de visualización basado en la web. El control PLC TwinCAT actúa como editor para la creación de páginas web. La activación se lleva a cabo simplemente mediante el establecimiento de una opción en el TwinCAT PLC Control. Las páginas web se alojan en el Internet Information Server (IIS). Para la visualización de las páginas web se necesita una máquina virtual Java.

## 3.6 Servo Drive

Modelo de conexionado del conjunto Drive + Servo + Encoder:





### 3.7 Sistema de carriles electrificados

Uno de los principales problemas surge a la hora de pasar potencia eléctrica y datos desde el panel fijo 0X00 al panel a bordo de la cúpula 0X01. Por una parte hay que pasar un sistema de acometida trifásico capaz de alimentar los accionamientos y sistema de calefacción. Por otra parte se necesita pasar un bus de datos de campo para cumplir con dos requisitos, intercambio de datos y consignas e intercambio de las señales de emergencia.

Para dar solución a este tema, se recurre a un sistema de escobillas deslizantes sobre carriles conductores de cobre. Estos carriles se instalarán en la parte fija haciendo un anillo cerrado de unos 40 metros de longitud.

- Transmisión de potencia: sistema U10/25C compuesto de 4 carriles electrificados (3 fases + tierra): 400VAC, 50Hz, capacidad de 10 hasta 100A. La capacidad de corriente viene determinada por el patín tomacorriente, siendo esta de 20A por unidad. Se van a instalar 2 tomacorrientes que nos dan 40A. Al instalar doble sistema de patines, también se consigue tener una redundancia en el traspaso de potencia y datos.
- Atendiendo a los consumos nominales de los servos, tenemos los siguientes consumos:
  - Acimutal:  $5,2A \times 2 = 10,4A$ ;
  - Compuerta:  $13,6A + 6,3A = 19,9A$ ;
  - Winshield:  $(6,3A \times 2) + 8,1A = 20,7A$ ;
- Sistema Powercom: permite la transmisión de datos bajo protocolo RS-485 a través de 2 carriles y un módem para la transmisión segura de datos en modo semidúplex, a través de conducciones en gabinete plástico o cuerpos de anillos rozantes. De serie incorpora una interfaz normalizada RS 485, es transparente y no necesita ningún direccionamiento de BUS.
  - Seguro: gracias a la tecnología específica de VAHLE se obtiene un efecto autolimpiante que garantiza un funcionamiento sin anomalías.
  - Rápido: transmisión directa de datos (máx. 2 - 3 bits de retraso).
  - Sencillo: tras montar el Powercom 485 de VAHLE ya se puede comenzar a transmitir datos (plug and play).
  - Velocidad de transmisión ajustable: 19,2 - 187,5 kbps.
- Sistema APOS de posicionamiento absoluto (ver apartado Movimiento Acimutal. Encoder externo)

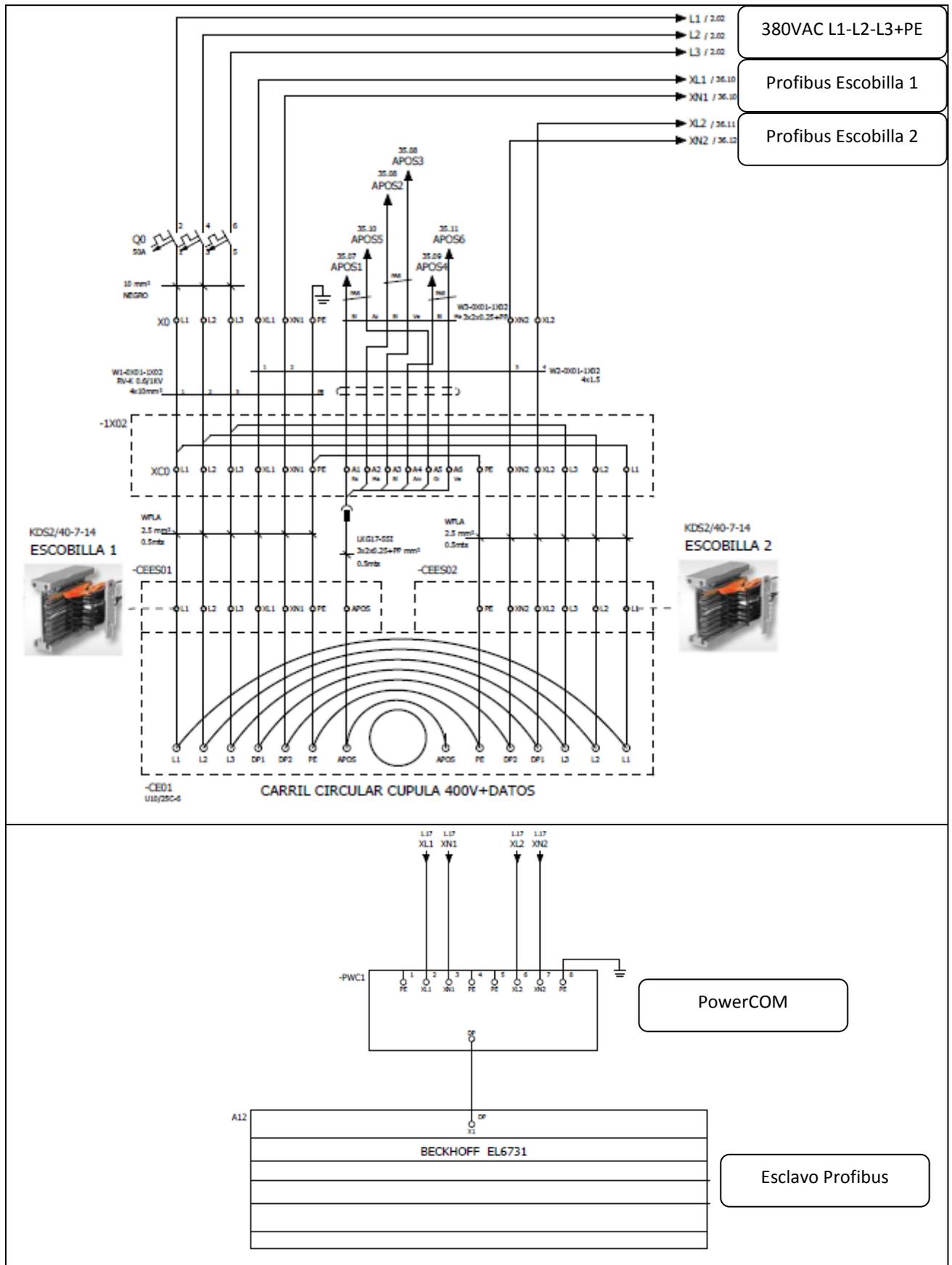


Fig. 3.7.1 – Acometida del panel 0X01 a través del carril electrificado

## Ref. Vahle

## Descripción del material

167006	5X8 CARRIL UNIPOLAR AISLADO, FASE L-6 M, U10/25C-6
167066	1X8 CARRIL UNIPOLAR AISLADO, TIERRA L-6 M, U10/25C-6
165006	6X7 JUNTA DE UNION, UEV10
165026	6 SECCIONAMIENTO LTE/LTE-U10 – Para dos cables de 4 mm = 80 A
142075	140 SOPORTE COMPACTO KA10-8N
165645	6X2 GRAPA DE BLOQUEO USK10
166935	1 CAJA CONEXIÓN 8 POLOS AKE-01
168085	1 TOMACORRIENTE COMPACTO, POTENCIA KDS2/40-7-14
168085	1 TOMACORRIENTE COMPACTO, POTENCIA KDS2/40-7-14 – Tierra montado sobre Ref. 142075

## SISTEMA APOS:

2823275	48m SISTEMA APOS PARA U-10: Cinta magnética + Perfil de soporte + Accesorios
2823158	1 CABEZAL DE LECTURA DESLIZANTE LKG17-SSI: Montado sobre Ref. 168085

## POWERCOM

910126	2 POWERCOM 485 HD-TWIN para protocolo RS 485 PROFIBUS (10/11 BITS) Velocidad de datos: 8,8-187,5 KBIT/S TENSION: 115-230 VAC, 50-60 HZ MAX. 200m
910080	1 FILTRO DOBLE, 6ª 230 V en caja perfil soporte
910106-100	2 CONEXIÓN TERMINAL RS100 OHM

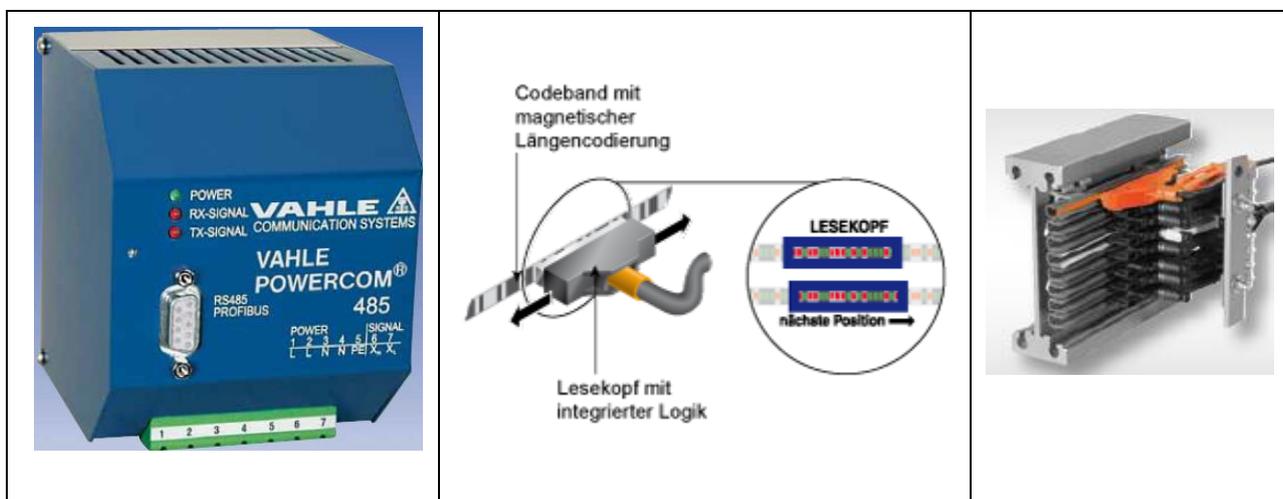




Fig. 3.7.2 – Sistema de carriles electrificados

A parte de la solución determinada para la transmisión de potencia y datos entre la parte fija y móvil, existe la necesidad del suministro de alimentación a las resistencias calefactoras localizadas en las compuertas. Para mantener las zonas de apertura y cierre libres de cadenas porta cables y similares, se decide el montaje e instalación de 2 nuevos carriles electrificados tal y como muestra la figura:

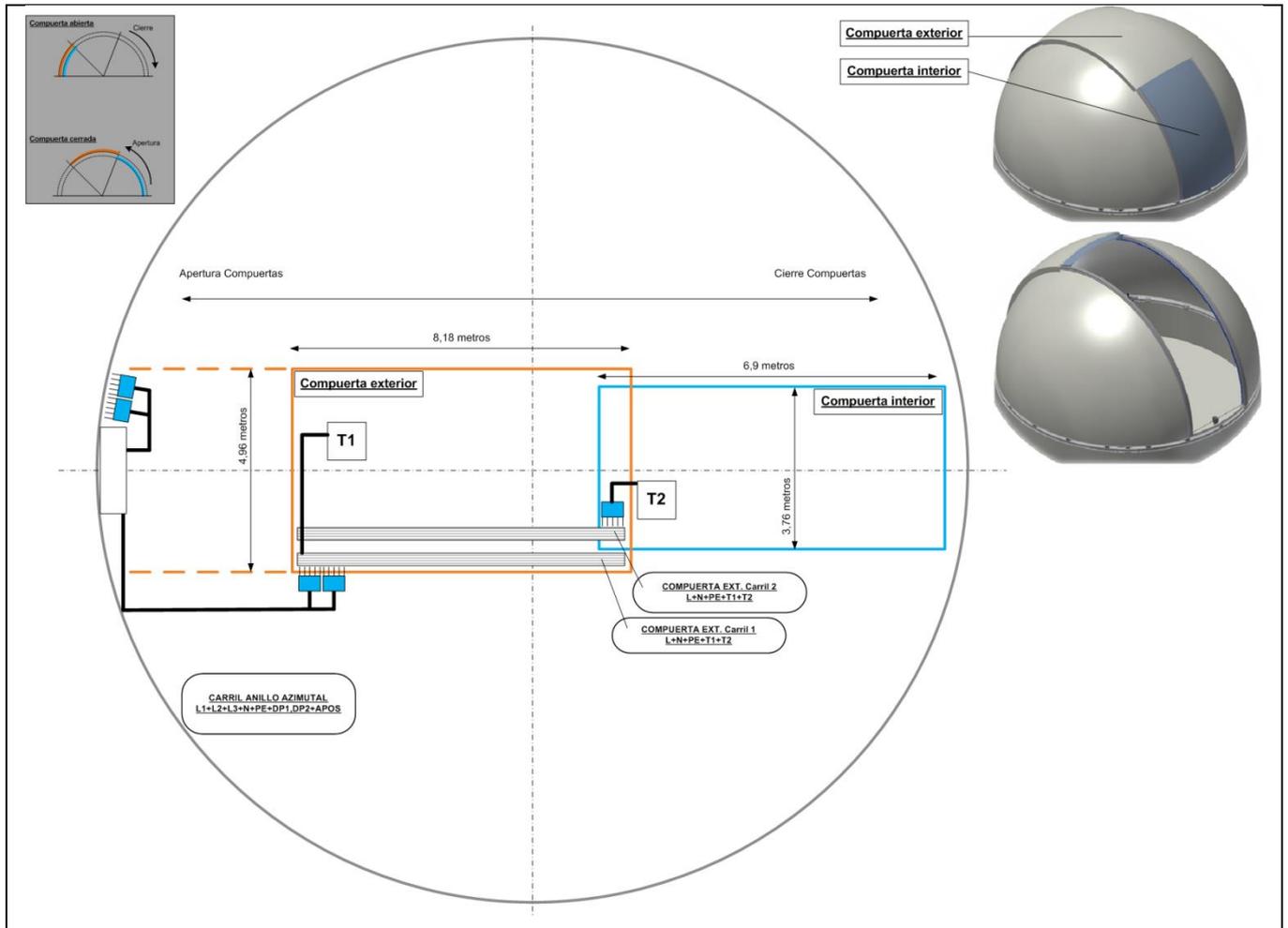


Fig. 3.7.3 – Disposición Carriles Electrificados sobre las compuertas de la cúpula



En la compuerta exterior se instalan 2 carriles electrificados:

1. El primer carril recibe 380 VAC y 220VAC del panel 0X01 a bordo de la cúpula. Con esto se alimenta la resistencia calefactora de esta compuerta exterior con 380 VAC y el termostato T1 con 220 VAC para poder hacer la conmutación por temperatura. Con esto tenemos los siguientes carriles:
  - 1) L1 380VAC;
  - 2) L2 380VAC;
  - 3) L3 380VAC;
  - 4) Conexión de tierra;
  - 5) Línea 220VAC;
  - 6) Neutro;
  - 7) T1: estado del termostato a bordo de la compuerta exterior;
  - 8) T2: estado del termostato a bordo de la compuerta interior;
2. El segundo carril recibe 380 VAC y 220 VAC del primer carril para poder alimentar a la resistencia y el termostato T2. El reparto de carriles es el mismo que en el primero.

## 3.8 Sistema de bandejas porta cables

El sistema seleccionado para hacer llegar todos los cables a sus respectivos elementos es una bandeja de rejilla que da flexibilidad a la hora de curvarse y seguir la forma esférica de la cúpula.

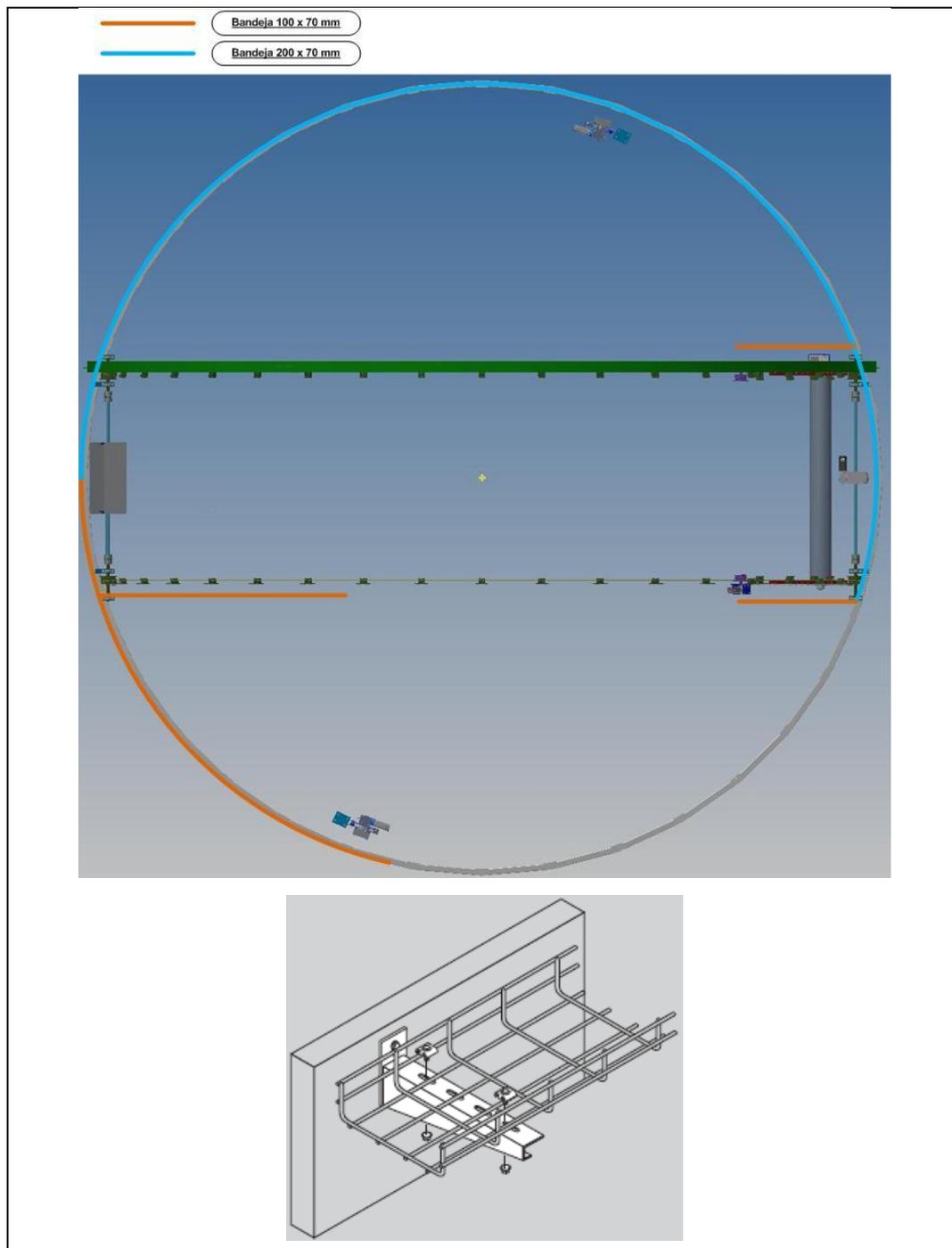


Fig. 3.8.1 – Esquema de disposición de las bandejas porta cables



### 3.9 Sistema de calefacción

Es necesario calentar los siguientes elementos de la cúpula para evitar que se acumule nieve en la superficie y posibles congelamientos. Con esto se persigue asegurar los movimientos de giro acimutal y cierre compuerta en condiciones climatológicas adversas. Las zonas a calentar son:

1. La guía de giro acimutal de unos 40 metros de longitud;
2. La superficie de la cúpula sobre la que se recogen las dos compuertas cuando están abiertas. Esta superficie queda justo detrás de la posición de instalación del panel eléctrico 0X00;
3. La compuerta exterior y sus 2 guías de movimiento;
4. La compuerta interior y sus 2 guías de movimiento;

La solución adoptada es un cable calefactor en paralelo. Tienen una potencia por metro lineal constante, incluso al cortarlos a medida según necesidades. Se caracteriza porque el conductor de calentamiento va arrollado en espiral alrededor de un conductor paralelo aislado del cable, con lo que realiza contactos alternativos en unos puntos determinados: el cable va formando una serie de resistencias en paralelo alimentadas por el conductor. Esto permite cortarlo y adaptarlo a cualquier tipo de necesidad.

Algo importante a considerar es la limitación de acometida que se tiene en el panel 0X01 de 50A. Seleccionando un cable con alimentación a 220VAC, que en principio es la solución de mercado estándar, ante una misma potencia calorífica, el consumo resultante es mayor y por lo tanto se obtiene un peor rendimiento del sistema calefactor, ya que obliga a disminuir la potencia. En consecuencia se opta por una alimentación de 380 VAC haciendo una conexión trifásica que disminuye el consumo en un factor  $\sqrt{3}$ .

Otro factor a tener en cuenta es que este cable va a quedar pegado a la superficie externa de las compuertas a calentar, para que el traspaso de energía calorífica sea más efectivo. Tras ser instalado se cubrirá con un material aislante, tipo lana de roca, y será cerrado por las chapas metálicas internas que conforman la compuerta. Es decir, es necesario que el cable tenga una cierta resistencia mecánica que le dé robustez. Por ello se elige un cable de silicona recubierto con una malla metálica. Esta malla también será importante en la protección pararrayos del propio cable.

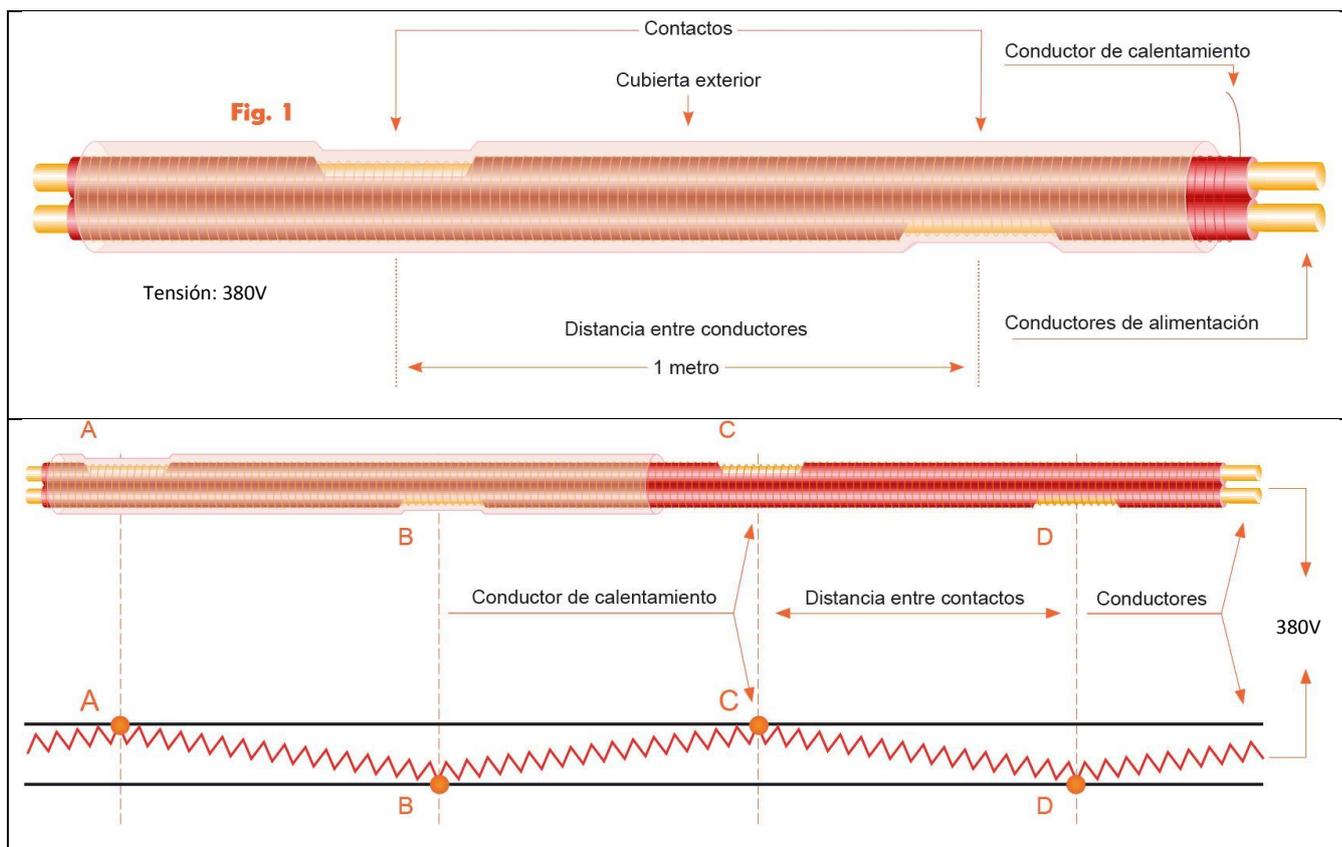


Fig. 3.9.1 – Esquema del cable calefactor en paralelo

## Características técnicas

<b>Alimentación</b>	380V
<b>Potencia</b>	45 W/m
<b>Sección conductores</b>	2 x 2,5mm <sup>2</sup>
<b>Aislamiento entre conductores</b>	Silicona
<b>Aislamiento cubierta exterior</b>	Malla 90% de cobertura (cobre/Sn – 1,5mm <sup>2</sup> )
<b>Espesor del dieléctrico</b>	Según CEI 1423-2
<b>Categoría mecánica</b>	H
<b>Curvatura</b>	30 mm
<b>Temperatura máxima de trabajo</b>	180°C



## Automatización cúpula telescopio



Para evitar que la nieve o hielo se acumule en la superficie, se ha determinado que la potencia calorífica necesaria es  $125 \text{ W/m}^2$ . Partiendo de este dato obtenemos la potencia total necesaria en base a la superficie a calentar:

	Largo	Ancho	m2	W/m2	W/m	Longitud	W
<b>Superficies</b>							
Compuerta Superior	8,18	4,96	40,6	125,0	45	<b>112,7</b>	5071,6
Compuerta Inferior	6,9	3,76	25,9	125,0	45	<b>72,1</b>	3243,0
Parte fija - Cúpula	6,015	3,88	23,3	125,0	45	<b>64,8</b>	2917,3
<b>Guías</b>							
Azimutal	-	-	-	-	45	<b>42,4</b>	1908,5
Guías compuerta superior	-	-	-	-	45	<b>16,36</b>	736,2
Guía compuerta Inferior	-	-	-	-	45	<b>13,8</b>	621,0
<b>TOTAL</b>						<b>322,2</b>	<b>14.497,6</b>

La disposición de las resistencias sobre la cúpula queda representada entonces de la siguiente manera:

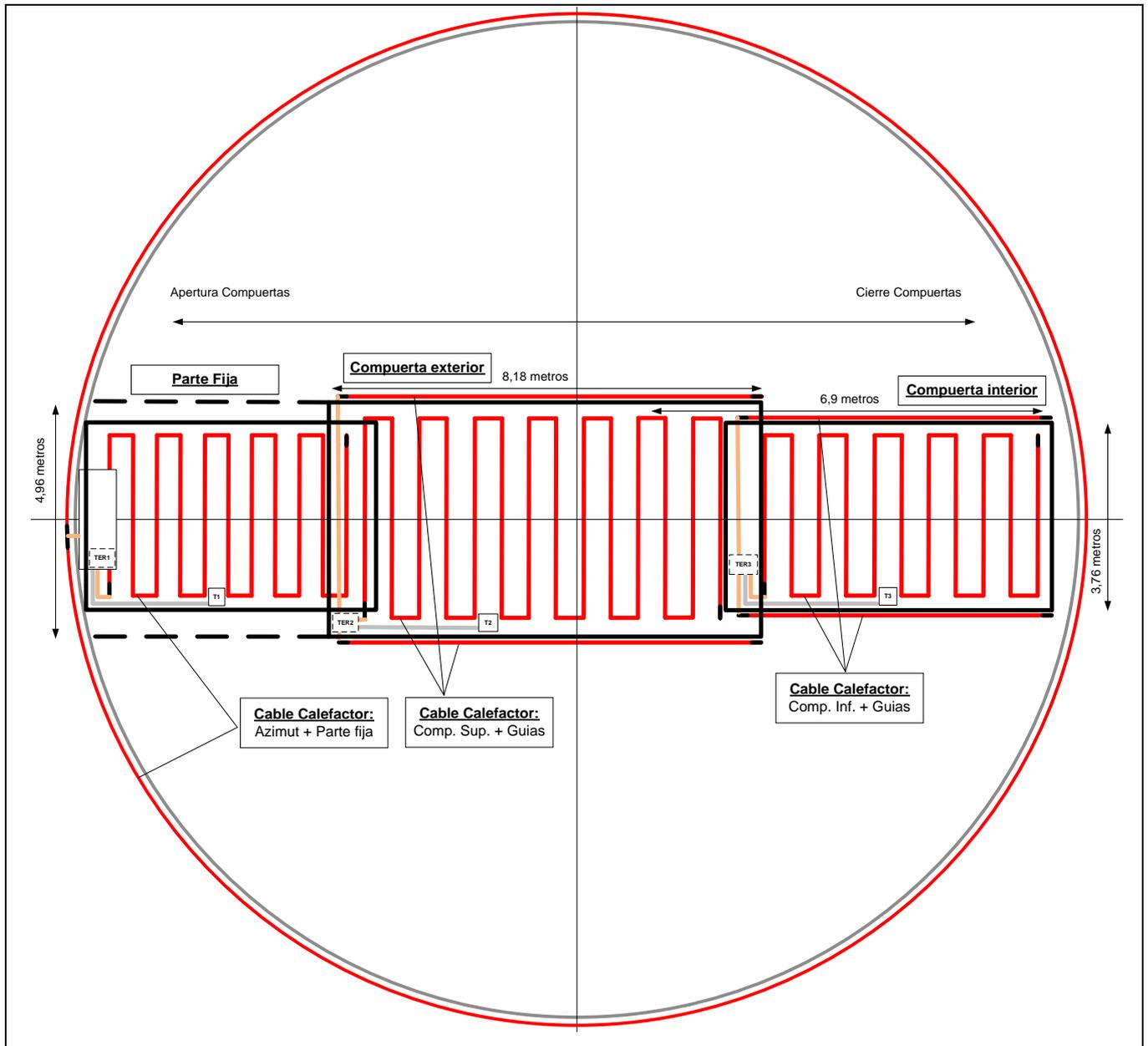


Fig. 3.9.2 – Esquema de disposición de los cables calefactores sobre las compuertas de la cúpula y guías

En consecuencia, el suministro de la alimentación a las resistencias calefactoras a través del carril electrificado es reflejado de forma esquemática en la siguiente figura:

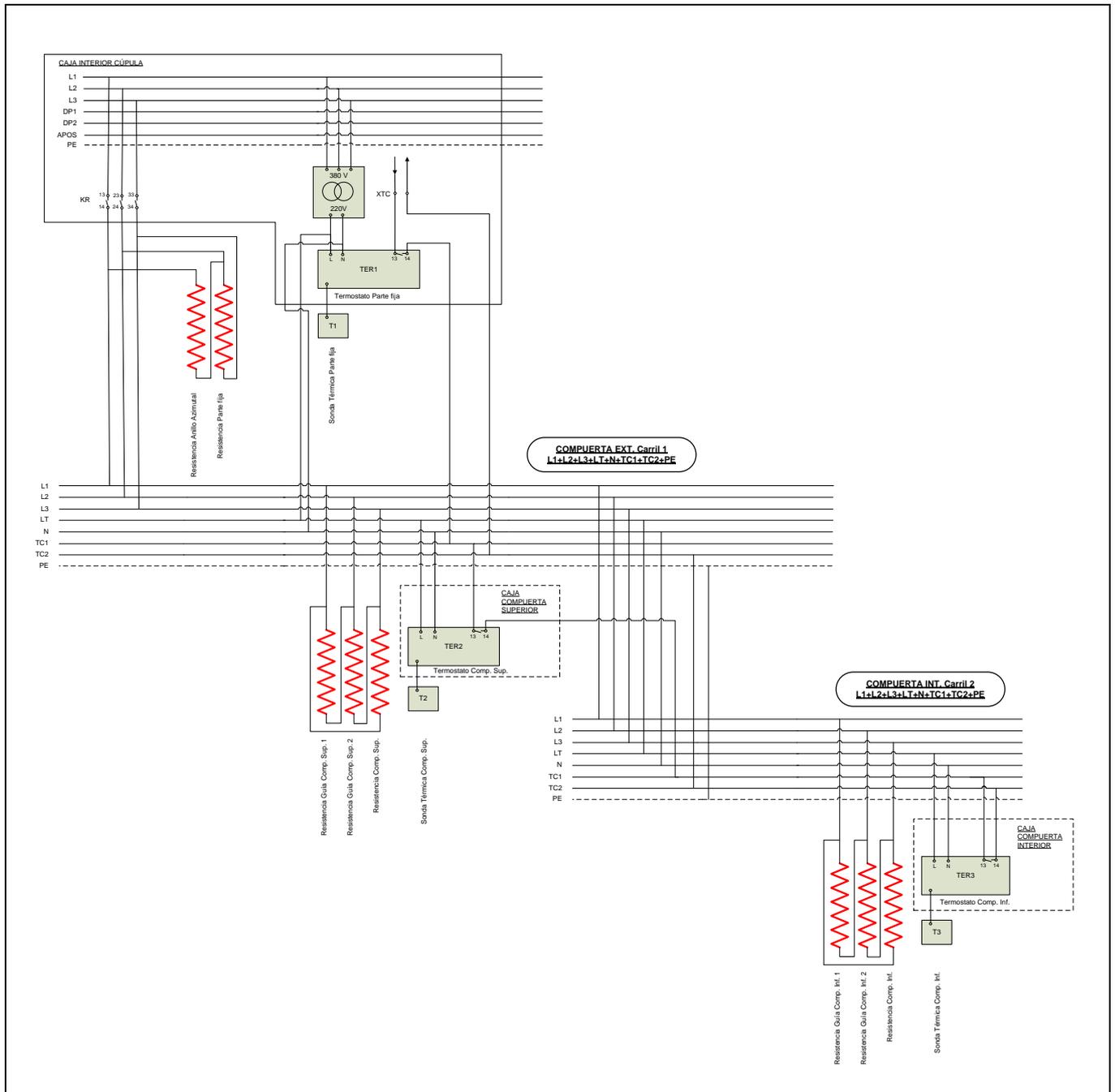


Fig. 3.9.3 – Suministro de alimentación mediante carril electrificado a los cables calefactores.

Se dispondrá de tres termostatos para el control seguro del suministro de potencia al cable calefactor. El modelo es ETN4-1999 y su esquema básico de conexión es el siguiente:

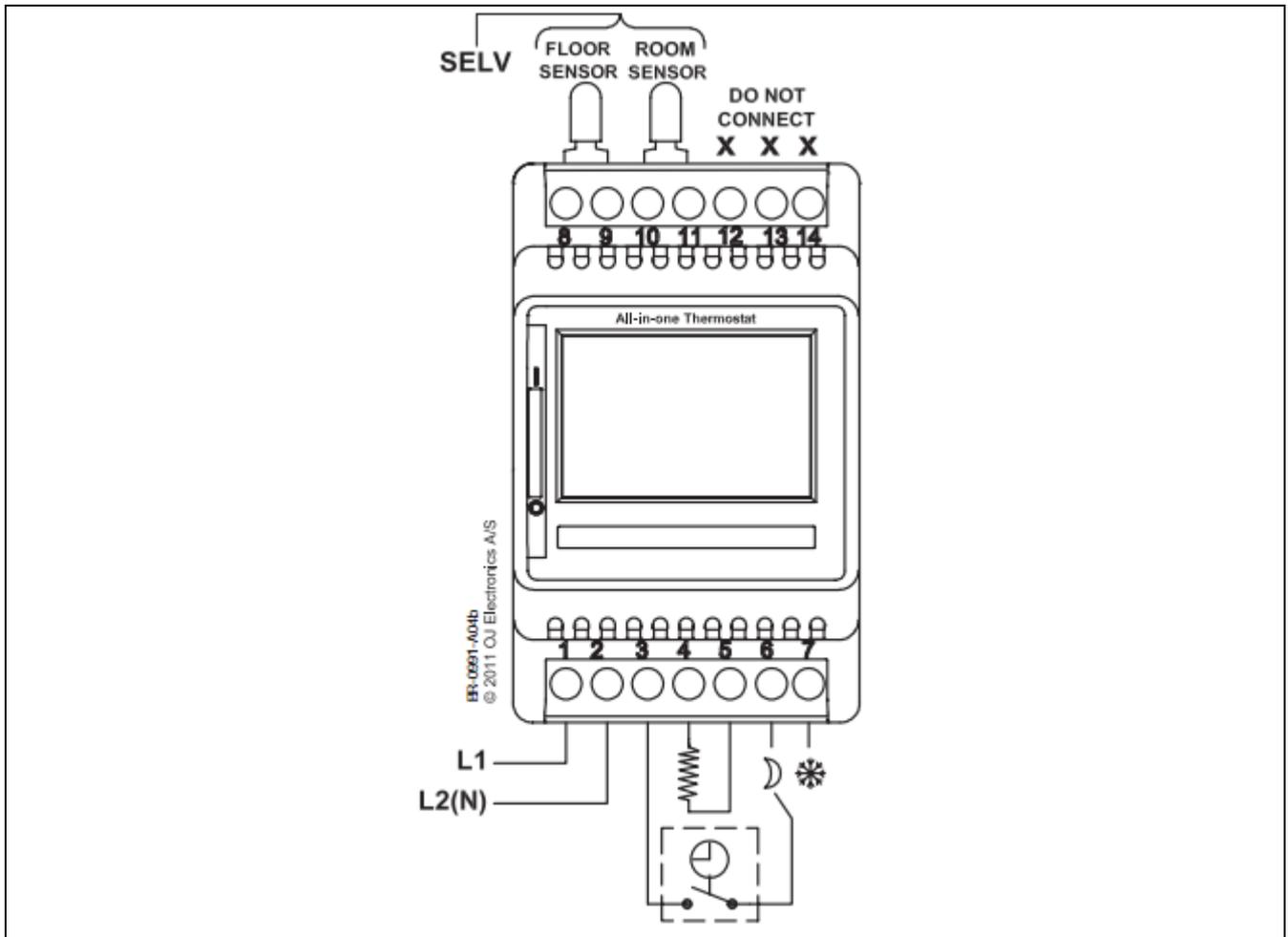


Fig. 3.9.4 – Termostato. Esquema de conexión

En esta aplicación difiere la forma de conectar el dispositivo. Así mismo sólo se utilizará:

- Bornes 1 y 2: alimentación del termostato 220VAC.
- Borne 4: salida de alimentación a relé externo para el control de sobretemperatura del cable calefactor o superficie calefactada.
- Bornes 8 y 9: “Floor sensor” → sensor protección cable.
- Bornes 10 y 11: “Room sensor” → sensor protección superficie calefactada.

La configuración del termostato será en modo “AF” (utilización de ambas sondas). El funcionamiento entonces será dependiendo de los parámetros Li-Hi, Li-Lo (valores límite máximo y mínimo del cable calefactor), SP (Set point de temperatura de superficie calefactada) y Dif (valor de

histéresis para el SP). Con estos parámetros establecidos, la salida del relé será activa en las siguientes condiciones:

- Si  $T^{\text{a}}_{\text{cable}} < \text{Li-Lo}$
- Si  $\text{Li-Lo} \leq T^{\text{a}}_{\text{cable}} < \text{Li-Hi}$  y  $T^{\text{a}}_{\text{superficie}} < \text{SP} + \text{Diff}/2$



Fig. 3.9.5 – Disposición real del cable calefactor en la compuerta interior

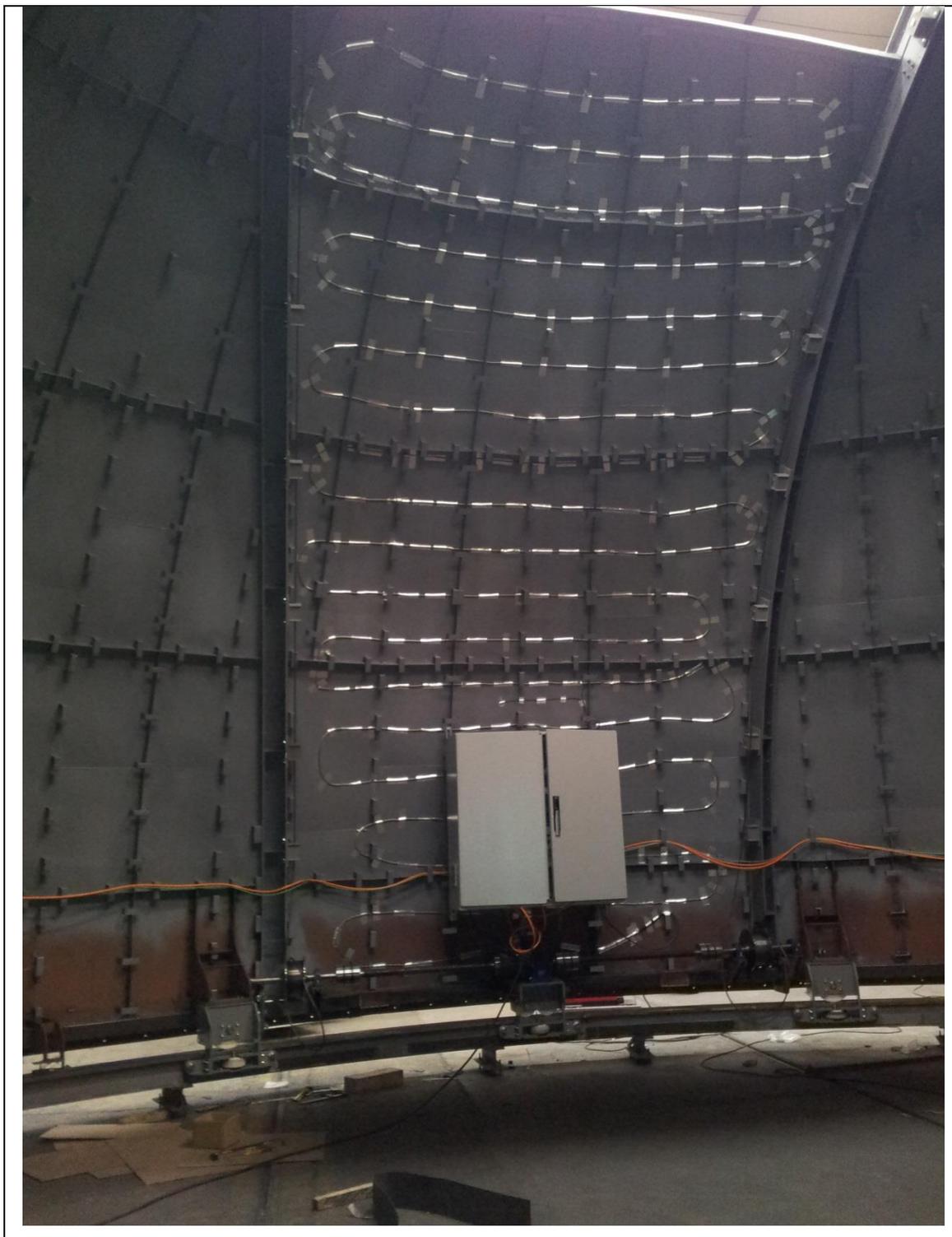


Fig. 3.9.6 – Disposición real del cable calefactor en la “parte fija” de la cúpula

### 3.10 Sistema de protección pararrayos

La estructura de acero de la cúpula irá unida eléctricamente a un sistema compuesto por 6 escobillas de grafito que deslizarán sobre la banda de rodadura acimutal. Esta banda de rodadura irá conectada a tierra, lo que hará que la cúpula se comporte como una jaula de Faraday. Todo elemento eléctrico que está a bordo de la cúpula estará aislado eléctricamente de la estructura de acero de la cúpula para evitar ser dañados por la posible caída de un rayo. Dichos elementos eléctricos llevarán su conexión a tierra, pero esta tierra será la que viaje a través del carril electrificado situado en el anillo acimutal (descrito en el apartado “Sistema de transmisión de potencia y datos”), que será totalmente independiente de la tierra que hará de protección pararrayos.



Fig. 3.10.1 – Escobilla de descarga a tierra

## 4 Descripción del software de control

### 4.1 Software de programación

La aplicación es desarrollada con el software de Beckhoff: TwinCAT 2.11 R3 (tcat\_2110\_2232.exe).

Para poder configurar los servos de la familia AM8000 se necesita instalar el último Drive Manager (cuya actualización es independiente del TwinCAT):

AX5000\_FirmwareV2.04b08\_V1.06b27\_TcDriveManager2.0.7.exe

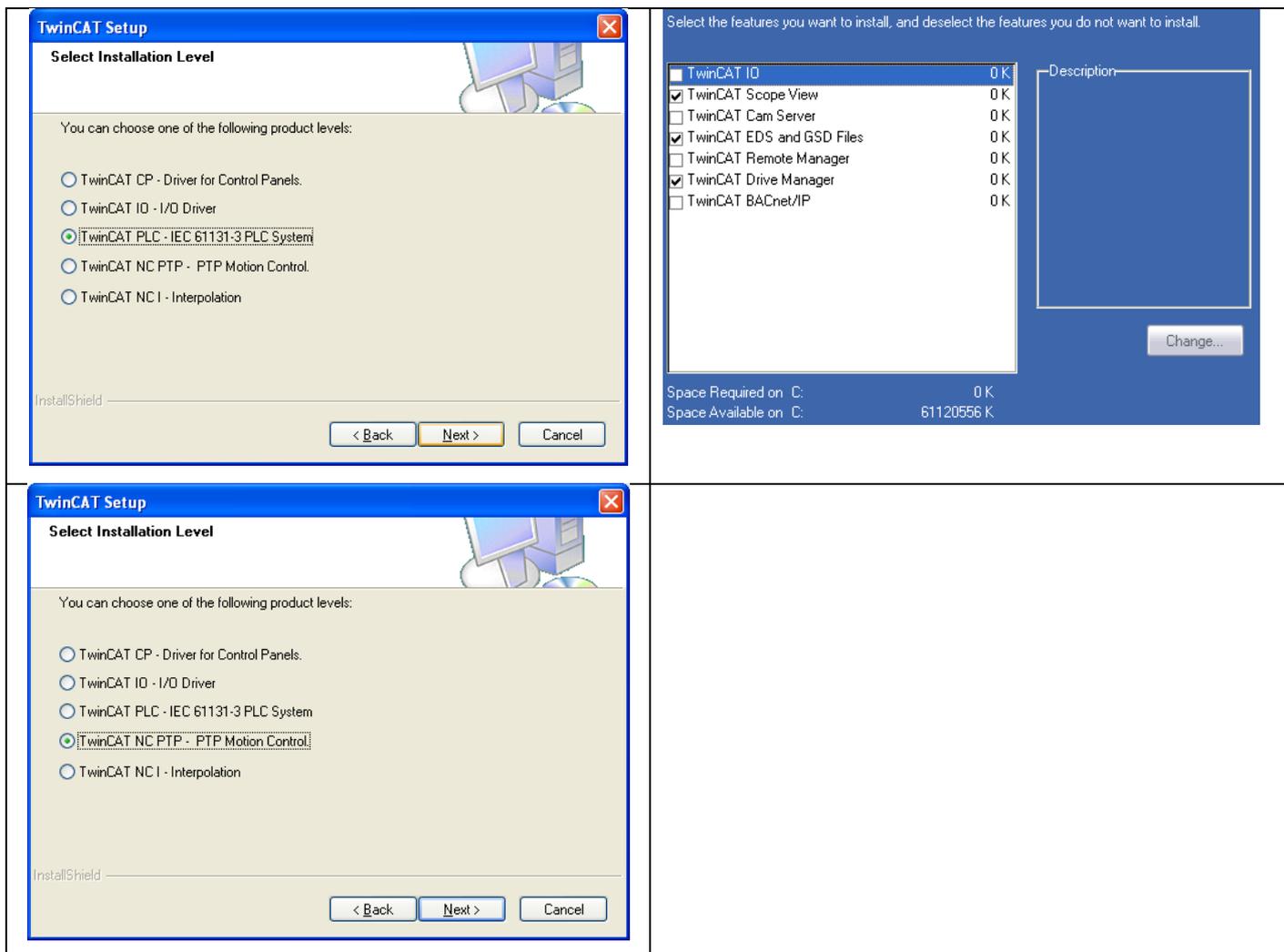


Fig.4.1.1 – Proceso de instalación del software de programación



## 4.2 OX00 CPU de control del armario de la parte fija

### 4.2.1 Gestión de interconexiones con el telescopio

El intercambio de señales con el telescopio se lleva a cabo mediante Profibus DP. La idea es que la cúpula abra la compuerta al inicio del proceso de observación y haga un movimiento de seguimiento acimutal. Por lo tanto, se puede decir que la cúpula actúa como un esclavo del telescopio, que sería el maestro. En la siguiente tabla se establecen los comandos, estados y variables a intercambiar:

Item	Origen	Destino	Tipo de dato	Comentario
01	TC	CP	Bool	Generales- Emergencia
02	CP	TC	Bool	Generales- Emergencia
03	TC	CP	DInt	AZ- Posición de destino en cº (0 – 36.000cº)
04	TC	CP	DInt	AZ- Velocidad de movimiento en cº / Segundo
05	TC	CP	Bool	AZ- Ejecutar comando de movimiento
06	TC	CP	Bool	AZ- Cancelar comando de movimiento
07	CP	TC	DInt	AZ- Posición real de la cúpula en cº (0 – 36.000cº)
08	CP	TC	Bool	AZ- Posición de destino alcanzada
09	TC	CP	DInt	CR- Posición de destino en cº (400 – 11.000cº)
10	TC	CP	DInt	CR- Velocidad de movimiento en cº / Segundo
11	TC	CP	Bool	CR- Ejecutar comando de movimiento
12	TC	CP	Bool	CR- Cancelar comando de movimiento
13	CP	TC	DInt	CR- Posición real de la compuerta en cº (400 – 11.000cº)
14	CP	TC	Bool	CR- Posición de destino alcanzada
15	TC	CP	DInt	WS- Posición de destino en cº (0 – 3.600cº)
16	TC	CP	DInt	WS- Velocidad de movimiento en cº / Segundo
17	TC	CP	Bool	WS- Ejecutar comando de movimiento
18	TC	CP	Bool	WS- Cancelar comando de movimiento
19	CP	TC	DInt	WS- Posición real del WS en cº (0 – 3.600cº)
20	CP	TC	Bool	WS- Posición de destino alcanzada
21	TC	CP	DInt	VFC- Posición de destino en % de apertura (0 – 100c%)
22	TC	CP	DInt	VFC - Velocidad (Reserva)
23	TC	CP	Bool	VFC - Ejecutar comando de movimiento
24	TC	CP	Bool	VFC - Cancelar comando de movimiento



25	CP	TC	DInt	VFC - Posición real en % de apertura (0 – 100cº)
26	CP	TC	Bool	VFC - Posición de destino alcanzada
27	TC	CP	DInt	VFP- Posición de destino en % de apertura (0 – 100c%)
28	TC	CP	DInt	VFP - Velocidad (Reserva)
29	TC	CP	Bool	VFP - Ejecutar comando de movimiento
30	TC	CP	Bool	VFP - Cancelar comando de movimiento
31	CP	TC	DInt	VFP - Posición real en % de apertura (0 – 100cº)
32	CP	TC	Bool	VFP - Posición de destino alcanzada

TC = Telescopio

CP = Cúpula

AZ = Movimiento azimutal

CR = Movimiento compuerta Rendija

WS = Movimiento Wind Shield

VFC = Ventanas Fijas Compuertas

VFP = Ventanas Fijas Persianas

Estas señales son recibidas desde el telescopio por la CPU principal de la cúpula instalada en el panel 0X00. Parte de estas señales son ejecutadas en esta misma CPU, como son el control de las persianas y compuertas de las ventanas fijas. El resto (control de giro acimutal, compuerta rendija y Wind Shield) deben ser enviadas a la CPU que está a bordo de la cúpula en el panel 0X01 ya que es la que tiene el control de los 7 servos encargados de estos movimientos. Esta comunicación también se hace por Profibus DP a través de los 2 carriles de datos de las escobillas y el sistema Powercom



### 4.2.2 Control del movimiento de las 10 ventanas fijas

#### Necesidades de control

Cada ventana se equipa con una compuerta externa metálica corredera y una persiana en la cara interna del edificio que regulan la entrada de ventilación y luz. Ambos sistemas llevan un motor de 220VAC y unos finales de carrera de límite de recorrido (abierto y cerrado).

La acometida que llega al panel eléctrico fijo 0X00 no tiene neutro por lo que se instala un transformador de aislamiento monofásico 400VAC/230VAC 3000VA para poder alimentar estos motores. Esta potencia de 3000VA genera una intensidad de 13,6A, la cual no es suficiente para poder mover los 20 motores simultáneamente. Por lo tanto, el software de control debe limitar el número de motores activos a 10 y además realizar el arranque escalonado para evitar un pico de arranque excesivo.

#### Código de programación

Para tener una aproximación de posición de las compuertas y persianas se hace una interpolación con el tiempo de apertura y cierre. Esto ofrece un porcentaje de apertura aproximado introduciendo el tiempo total de apertura para cada motor.

Una vez establecidas las necesidades de control, se decide utilizar un *Function Block* para el control del motor y sus finales de carrera. Esto hace que el código de programación sea único y las entradas y salidas del bloque lo hagan específico para cada motor.

- MAIN: estructura de programa de ejecución cíclica cada 10ms donde se ejecutan las llamadas a los 20 FB's de los motores. Ver "ANEXO A: Apartado 8.1.7 MAIN".
- FB10\_VM: Bloque de función para la gestión en Ventanas de motores Compuerta y Persiana. Ver "ANEXO A: Apartado 8.1.2 FB10\_VM".

## Conexión eléctrica

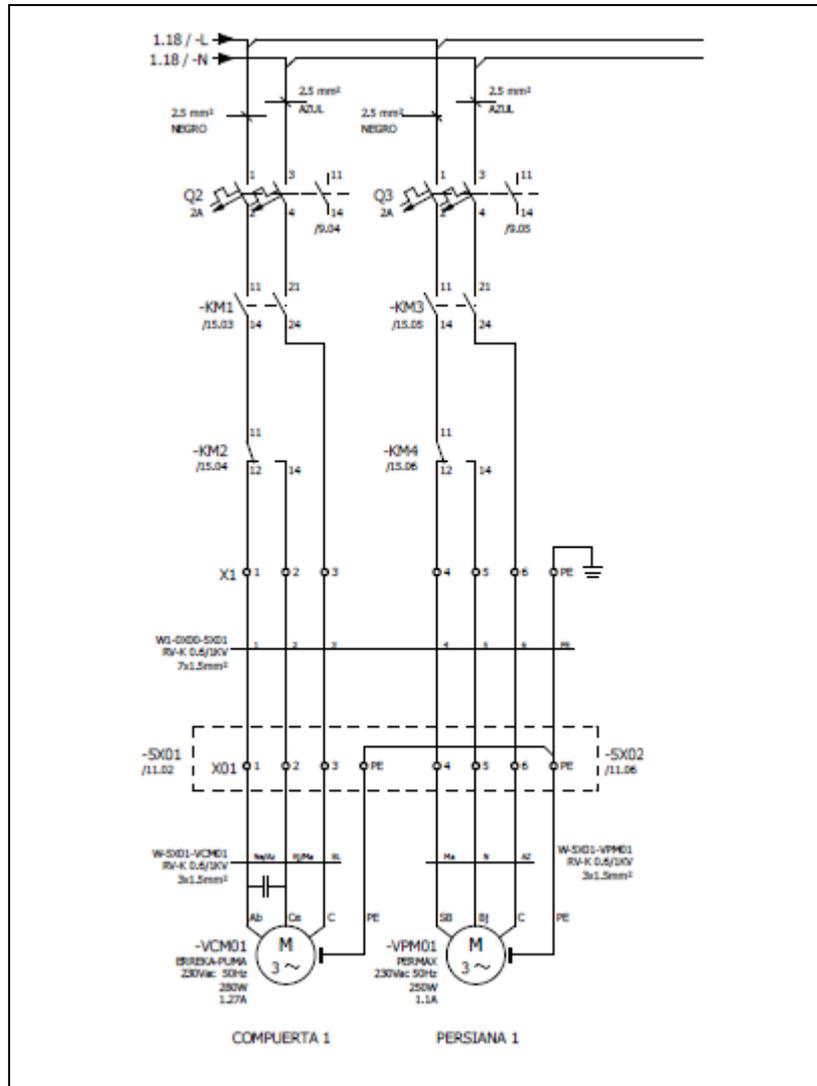


Fig. 4.2.3.1 – 0X00 Conexión motores compuerta y persiana

Cada motor lleva su protección magnetotérmica que llega a una entrada digital del PLC, y dos relés de potencia:

- Relé 1 con 2 contactos abiertos para habilitar el movimiento;
- Relé 2 con 1 contacto conmutado para elegir el sentido de giro del motor. Si no se activa el relé, el motor abre y viceversa al activarse.



### 4.3 0X01 CPU de control del armario móvil a bordo de la cúpula

#### 4.3.1 Control del sistema de calefacción

El sistema de calefacción de la cúpula se compone de los siguientes elementos:

- Calefacción de la guía acimutal y la parte de la cúpula donde se recoge la compuerta rendija cuando se abre. Se equipa con un termostato con 2 sondas de temperatura. Una para la chapa y otra para el cable.
- Calefacción de la compuerta superior y sus 2 guías. Se equipa con un segundo termostato con 2 sondas.
- Calefacción de la compuerta inferior y sus 2 guías. Se equipa con un segundo termostato con 2 sondas.

La activación del sistema de calefacción se hace a través de un único contactor por lo que no se puede activar por zonas. Cada uno de los 3 termostatos llega a una entrada digital del PLC ubicado en el panel 0X01. La decisión de activar el sistema vendrá a través de EtherCat desde el Scada general del edificio. Existe la posibilidad incluso de no tener en cuenta las señales de los termostatos y calentar de todas formas.

## 4.3.2 Control del movimiento acimutal

Estrategia de control

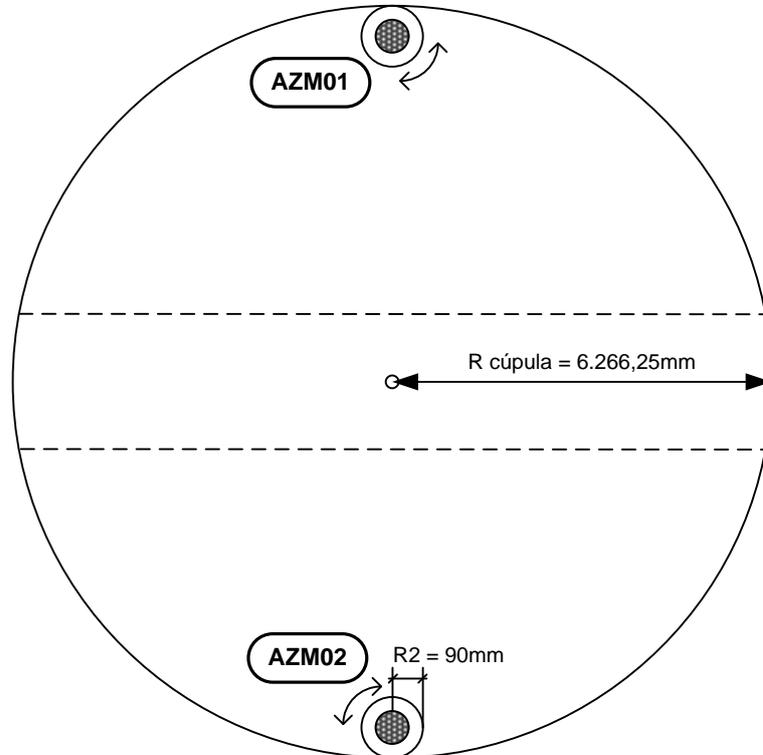


Fig.4.3.2.1 - Movimiento Acimutal. Esquema lógico de control

La estrategia de control utilizada pasa por acoplar los dos ejes como maestro y esclavo, de forma que la CPU pasa una consigna de posición y velocidad al maestro vía EtherCat y este la remite al esclavo.

Ambos servos atacan a una rueda motriz de nylon de  $\phi=180$  mm a través de una reductora de índice 50.

1 vuelta de motor  $\rightarrow \pi \cdot R / i = \pi \cdot 90 / 50 = 11,2199$ mm de avance de lineal de la rueda

Diámetro de la cúpula en el eje de rodadura = 12.532,5 mm

Perímetro cúpula rueda motriz =  $\pi \cdot 12.532,5$  mm = 39.372,009931mm = 36.000cº de cúpula

FeedConstant: avance de la cúpula en cº correspondiente a una vuelta motor.

FeedConstant =  $11,2199 \cdot 36000 / 39.372 = 10,3411131059246$ cº

Las unidades de trabajo son cº de cúpula para las consignas de posición y cº/seg para las consignas de velocidad. El recorrido total son 36.000cº de la cúpula que equivalen a 1 vuelta completa de la cúpula.



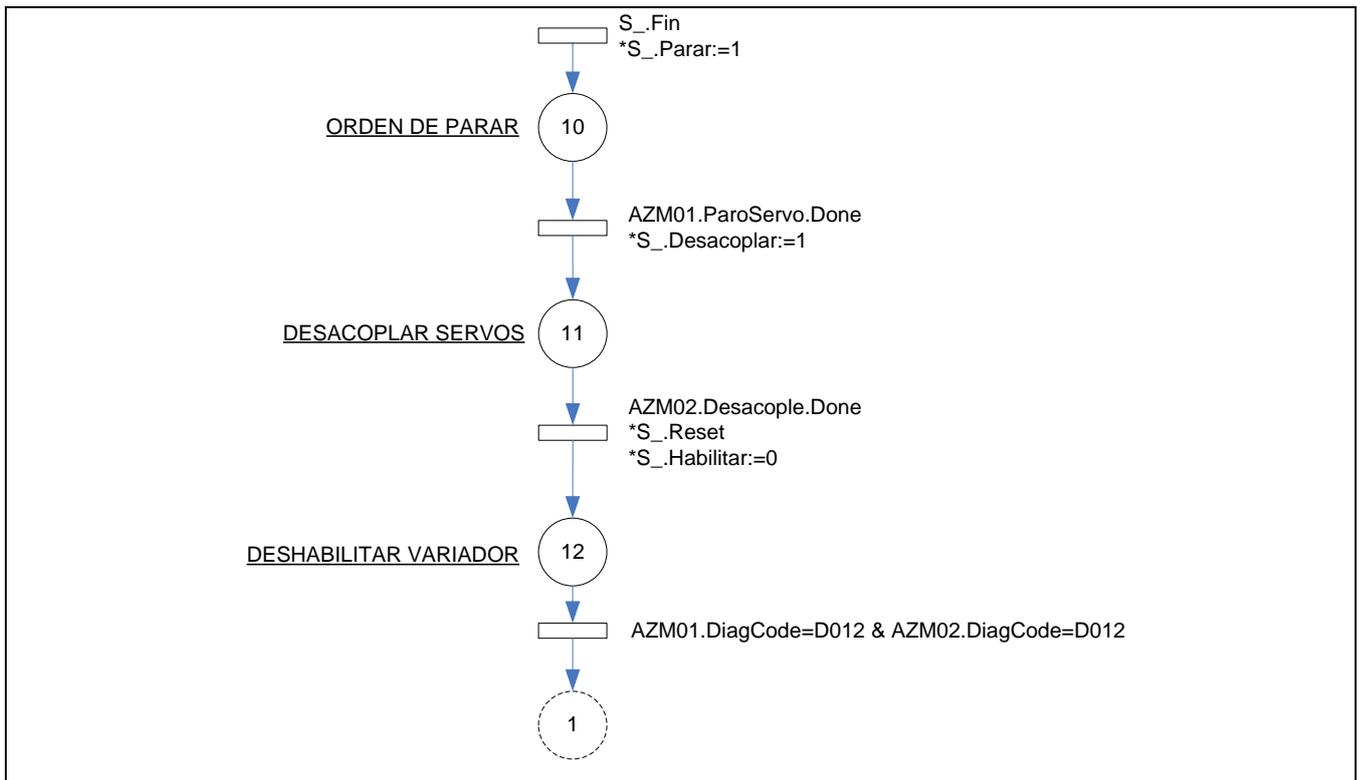
Por tanto, la relación de acople debe ser 1 debido que el desarrollo de ambos servos es idéntico. Una vuelta del maestro equivale a 1 vuelta del esclavo.

Al principio del movimiento, se toma lectura del encoder absoluto APOS y se actualizan los 2 encoders relativos, uno por cada servo. Se establece la consigna de posición y de velocidad, se acoplan los ejes como maestro-esclavo y se ejecuta la orden de movimiento hasta que alcancen el destino. Una vez alcanzado el destino con el encoder relativo del servo, se comprueba el error cometido con el encoder absoluto APOS (hay que tener en cuenta posibles deslizamientos de las ruedas motrices). Si el error es mayor de  $2c^\circ$ , se vuelve a hacer un movimiento fino de ajuste repitiendo el procedimiento.

Las variables y funciones utilizadas son:

Variable de PLC	Tipo de dato (Librería Sercos)
AZM01, AZM02	AxisRef
AZM01.MovPos, AZM02.MovPos	MC_MoveAbsolute
AZM01.SetPos, AZM02.SetPos	
AZM01.Acople.InGear, AZM02.Acople.InGear	MC_GearInDyn
AZM01.Desacople, AZM02.Desacople	MC_GearOut





## NOMENCLATURA de las variables utilizadas:

### **S\_:** Pulsadores y flags de habilitación

- HabilitarK: Habilitar contactor de potencia
- Habilitar: Habilitar variador
- Inicio: Habilitar inicio del movimiento en automático
- Mover: Habilitar movimiento al servo
- Fin: Finalizar el movimiento en automático
- MovPos: Habilitar movimiento en posición
- Parar: Detener movimiento en curso
- PosActual: Habilitar cambio de posición actual

### **K\_:** Constantes

- DifPos\_Ext: Diferencia de valor entre encoder Servo y encoder Externo
- VelAjuste: Velocidad de ajuste
- VelTrabajo: Velocidad de trabajo en condiciones normales

### **AZM0x:**



- DiagCode: Número de diagnóstico que indica el estado del eje.
- MovPos.Done: Flanco positivo, destino alcanzado
- ActPos:= Posición actual encoder servo

### VAR:

- SP\_Vel: Setpoint de velocidad en centésimas de grado
- SP\_PosTarget: Setpoint de posición destino
- SP\_Aut: Setpoint de posición en automático
- CalculoSPAut.SP\_Aux: SP en automático por el camino más corto
- SP\_PosActual: set pos de la posición actual del servo
- Vahle.PosAct\_cg: posición actual del carril Vahle en c°
- PosCorr: Posición a corregir por desfase de encoder Vahle y Servos

\* Toda la secuencia condicionada a Aut y no Def

## 4.3.3 Control del movimiento de la compuerta rendija

### Estrategia de control

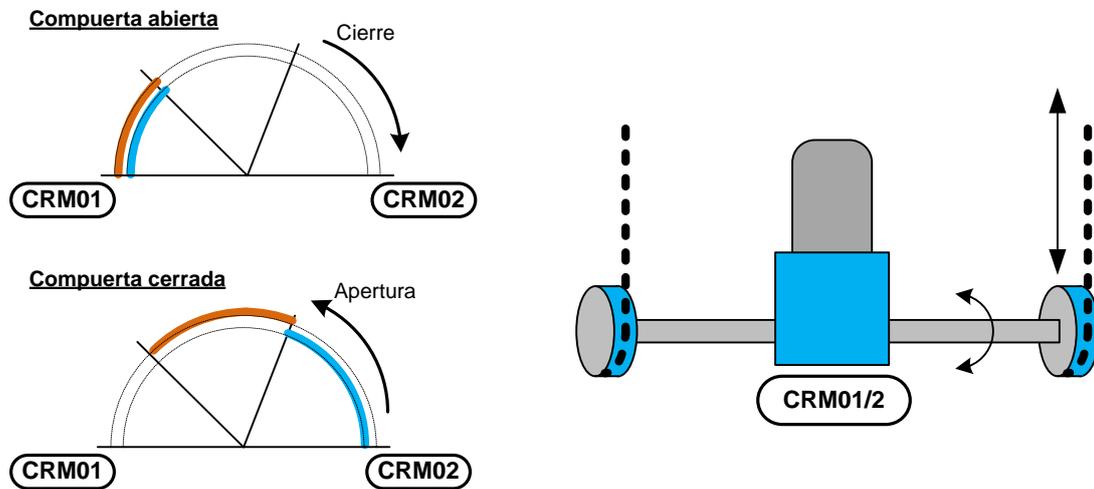


Fig. 4.3.3.1 - Movimiento Compuerta Rendija. Esquema lógico de control

El movimiento se lleva a cabo mediante 2 conjuntos servo+reductora, uno ubicado en el lado del Wind Shield (CRM02) y el otro opuesto a 180º (CRM01). Cada servorreductor mueve dos tambores que, mediante sus correspondientes sirgas, abren y cierran la compuerta exterior e interior.

### Movimiento de cierre

- CRM02 trabaja a tracción para enrollar la sirga en el tambor con una consigna fija de velocidad.
- CRM01 trabaja en retenida con una consigna de par variable en función de la posición de la compuerta y/o del par de MCR02 para mantener una cierta tensión en las sirgas. De esta manera se consigue que MCR02 siempre tenga que hacer un par positivo para cerrar la compuerta, incluso cuando se haya superado el zenit (momento en el cual la compuerta caería por gravedad). De esta manera se consigue una transición continua y sin tirones, y el arrollamiento de las sirgas en los tambores se hará correctamente.

### Movimiento de apertura

- CRM01 trabaja a tracción para enrollar la sirga en el tambor con una consigna fija de velocidad.
- CRM02 trabaja en retenida con una consigna de par variable en función de la posición de la compuerta y/o del par de CRM01 para mantener una cierta tensión en las sirgas.



El primer planteamiento fue que los servos trabajaran en control de posición/velocidad o en control de par en función del movimiento (apertura o cierre) y de la posición de la compuerta. El cambiar el modo de trabajo se hace en la configuración hardware del propio drive y el eje NC. Pero Beckhoff ofrece la posibilidad de crear 2 grupos de parámetros (uno para cada modo de trabajo) y poder cambiar entre ambos de manera dinámica desde el software del PLC. Esta opción se descartó por su complejidad de programación y especialmente por su dificultad a la hora de la puesta en servicio.

La solución adoptada pasa por configurar ambos servos en modo de control de posición y velocidad. El tener una lectura del consumo y del par de todo servo permite realizar un control del par en todo momento. El proceso de control de par habiendo configurado el servo en posición es:

1. Se acoplan los 2 servos (FB MC\_GearInDyn), estableciendo como maestro el servo CRM02 que es el que lleva asociado el encoder absoluto y como esclavo el servo CRM01.
2. Durante el movimiento y en función de la lectura de par de ambos servos, se realizarán desajustes en el seguimiento de posición de CRM01, de tal manera que este servo hará decrementos o incrementos de velocidad para tensar o destensar las sirgas. Para esto se usa la función MC\_SuperImposed atendiendo al movimiento y posición tal y como sigue:
  - Apertura Zona A (de 4º a 20º): CRM02 tira de la carga y CRM01 debe retrasarse para tensar o adelantarse para destensar las sirgas.
  - Apertura Zona no A (de 21º a 110º): la compuerta ha pasado el zenit y CRM01 retiene la carga, igualmente debe retrasarse para tensar o adelantarse para destensar las sirgas.
  - Cierre Zona B (de 110º a 30º): CRM01 tira de la carga y debe retrasarse para destensar o adelantarse para tensar las sirgas.
  - Cierre Zona no B (de 29º a 4º): la compuerta ha pasado el zenit y CRM02 retiene la carga, igualmente debe retrasarse para destensar o adelantarse para tensar las sirgas.

Para la regulación de par se ha partido del par de vacío de los servos, es decir, el par que necesita el servo para mover los dos tambores sin sirgas. Si un servo trabaja por debajo de su par de vacío, se entiende que están tirando de él (le están ayudando a ejercer el movimiento) y por lo tanto las sirgas están bien tensadas. Este hecho se produce cuando trabajan reteniendo la compuerta.

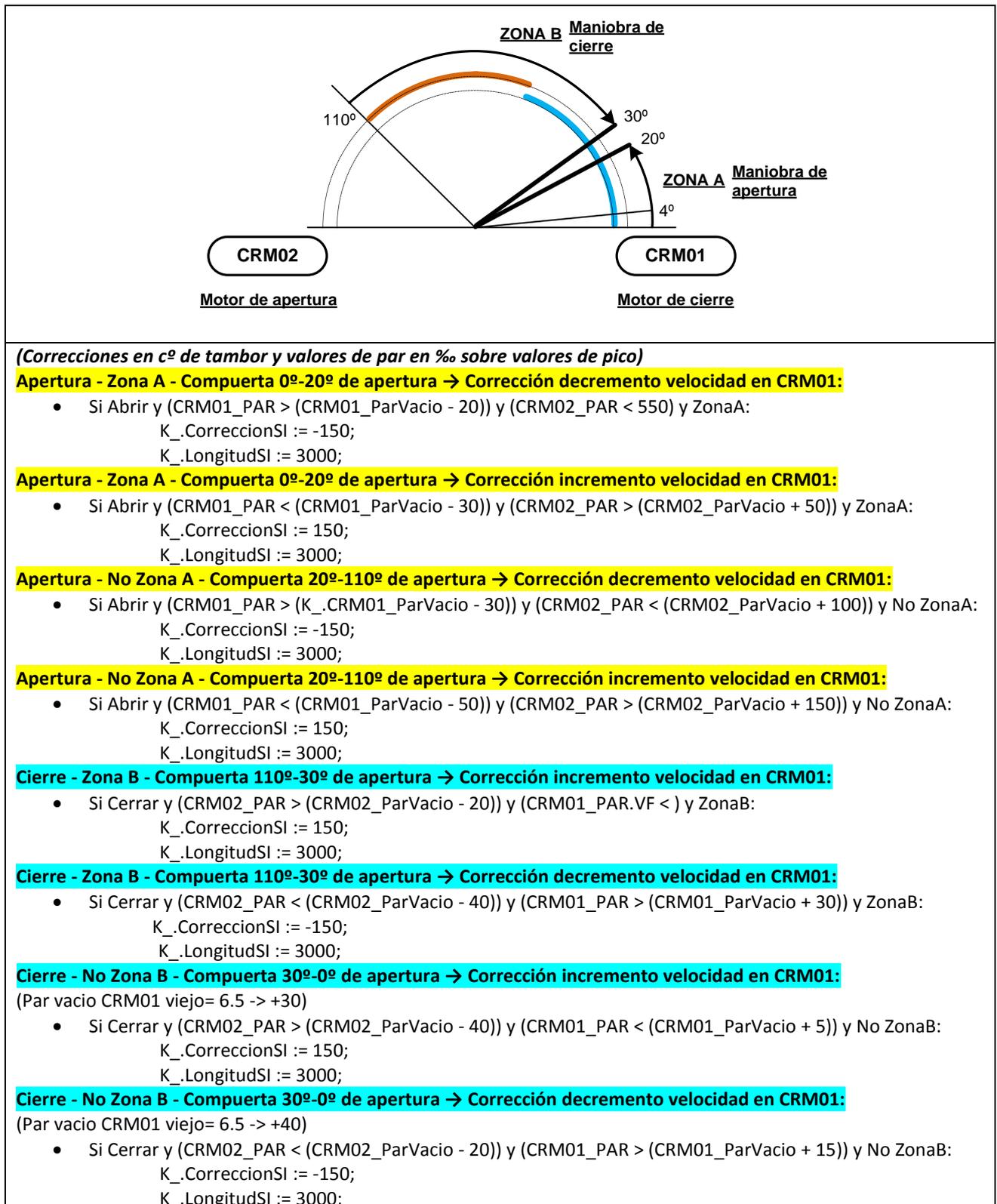


Fig. 4.3.3.2 – Tabla de movimiento y ajustes de par de la compuerta

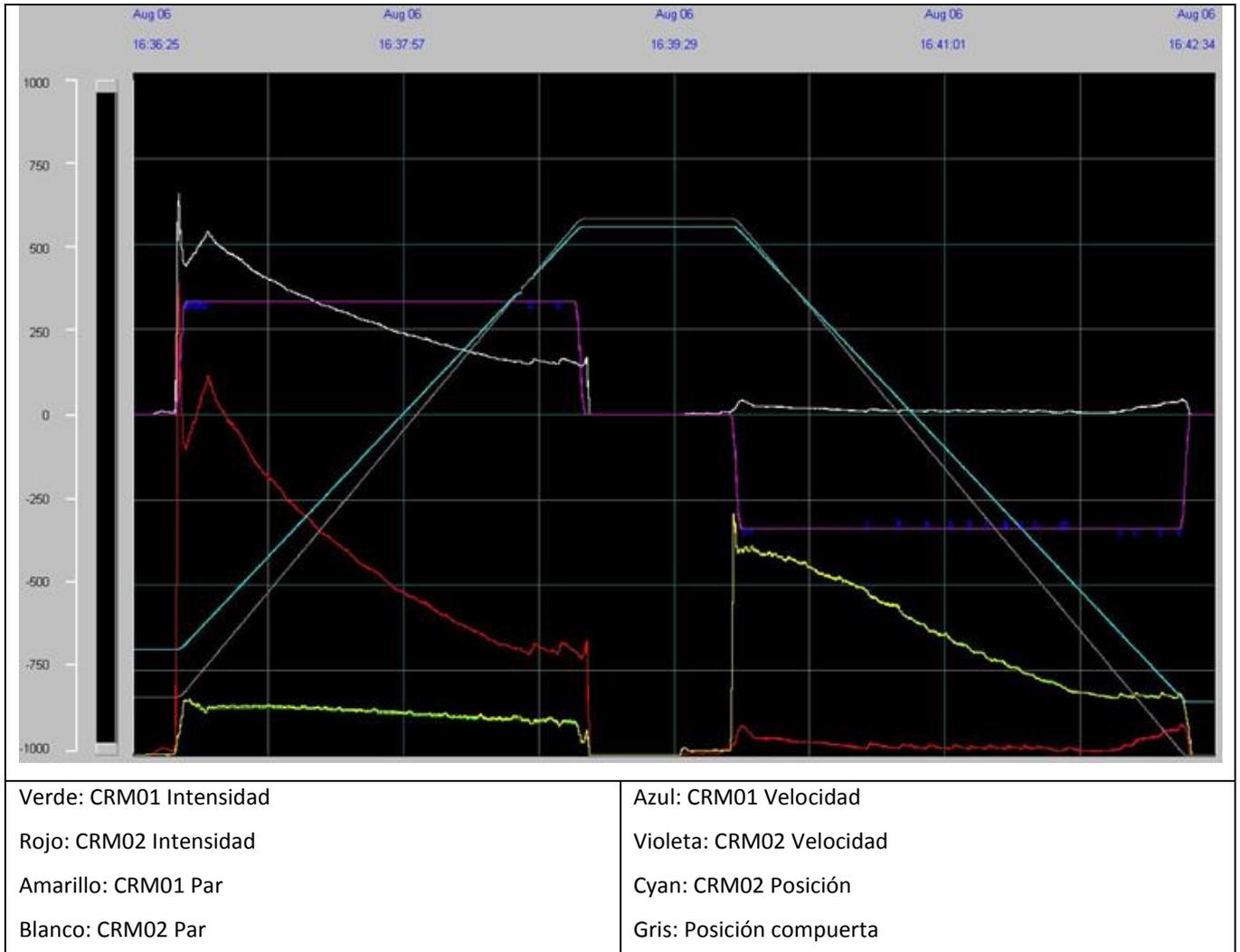


Fig. 4.3.3.3 – Gráfica de movimiento de la compuerta

Puntos a considerar en la interpretación de la gráfica:

- La primera mitad, cuando la posición aumenta, corresponde a la apertura y la segunda mitad al cierre.
- Se pueden observar en la línea azul los incrementos y decrementos de velocidad con respecto a la velocidad constante de CRM02, en violeta.



Ambos servos atacan a dos tambores de  $\phi=245$  mm pero a través de reductoras diferentes, CRM01 con índice=400 y CRM02 con índice 224.

Perímetro en mm del tambor 1 capa		771,00 mm
	Cierre	Apertura
Reducción	400	224
Avance sirga en mm con 1 vuelta de motor	1,9275	3,4420 mm
Avance sirga en cº de compuerta con 1 vuelta de motor	1,7463	3,1184 cº
Avance tambor en ºc con 1 vuelta de motor	9,00	16,07 cº

Las unidades de trabajo son cº de tambor para las consignas de posición y cº/seg para las consignas de velocidad. El recorrido total de la compuerta es:

- 104º: de 4º cuando está cerrada a 110º cuando está abierta.
- 11.308 mm de recorrido de sirga.
- 14,66 vueltas de tambor.
- 528.036cº de tambor.

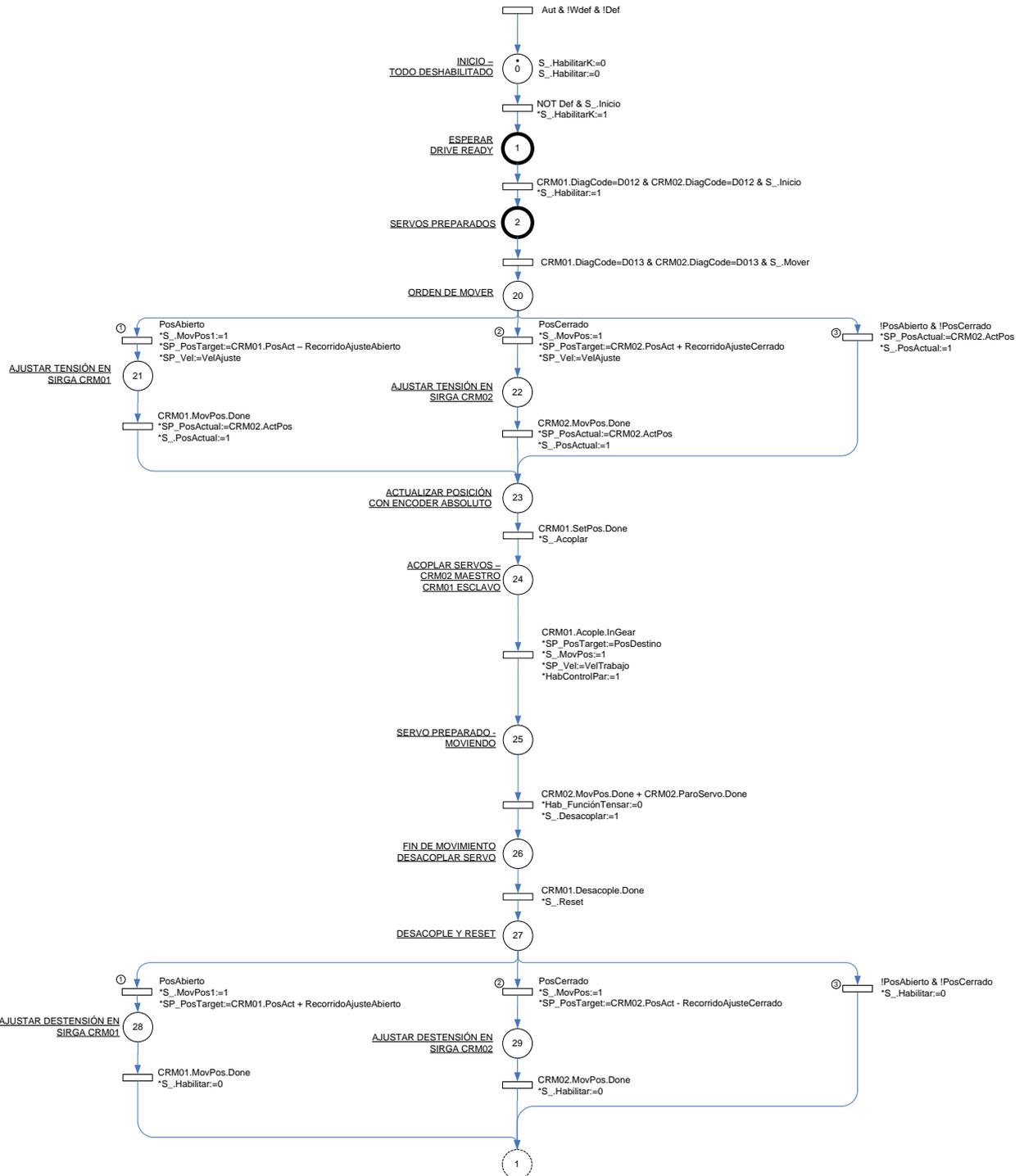
Las variables y funciones utilizadas son:

Variable de PLC	Tipo de dato (Librería Sercos)
CRM01, CRM02	AxisRef
CRM01.MovPos, CRM02.MovPos	MC_MoveAbsolute
CRM01.SetPos, CRM02.SetPos	
CRM01.Acople.InGear, CRM02.Acople.InGear	MC_GearInDyn
CRM01.Desacople, CRM02.Desacople	MC_GearOut
CRM01.SuperImposed, CRM02.SuperImposed	MC_SuperImposed



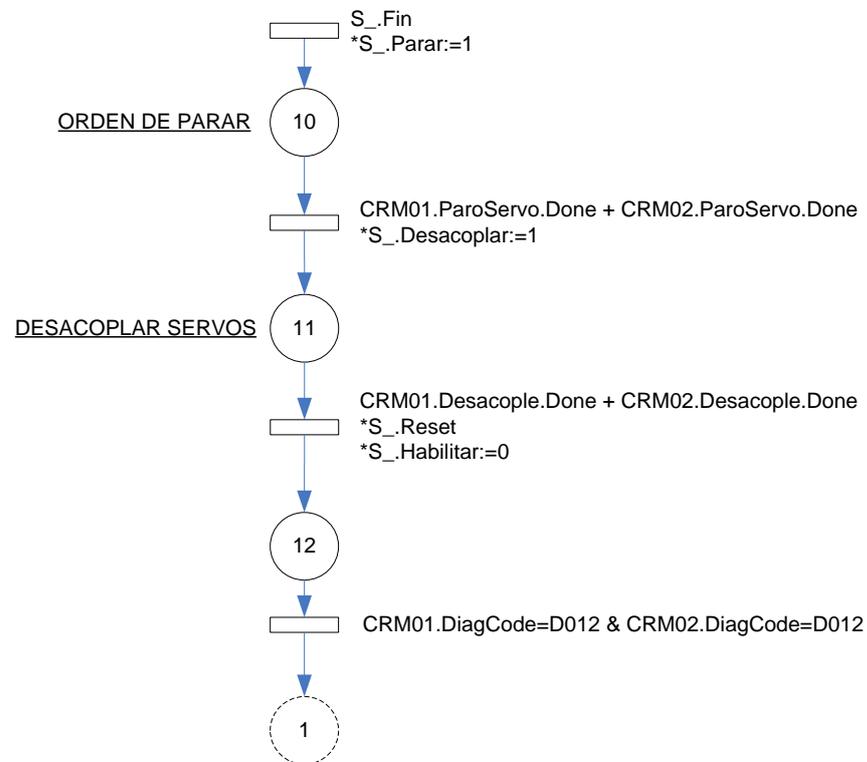
## Diagrama de flujo del movimiento de la compuerta en modo automático

### FB10\_CR - Movimiento Compuerta Rendija



El pulsador de Fin en cualquier momento ejecuta secuencia de parada

Y se inicializa



Nomenclatura de las variables:

### **S\_:** Pulsadores y flags de habilitación

- HabilitarK: Habilitar contactor de potencia
- Habilitar: Habilitar variador
- Inicio: Habilitar inicio del movimiento en automático
- Mover: Habilitar movimiento al servo
- Fin: Finalizar el movimiento en automático
- MovPos: Habilitar movimiento en posición
- Parar: Detener movimiento en curso
- PosActual: Habilitar cambio de posición actual
- MovSuper: Habilitar movimiento de servos con opción SuperImposed

### **K\_:** Constantes

- DifPos\_Ext: Diferencia de valor entre encoder Servo y encoder Externo
- PosAbierto: Cota de posición Windshield abierto
- PosCerrado: Cota de posición Windshield cerrado
- VelAjuste: Velocidad de ajuste
- VelTrabajo: Velocidad de trabajo en condiciones normales

### **CRM0x:**

- DiagCode: Número de diagnóstico que indica el estado del eje.
- ActPos: Posición actual del servo
- ActVelo: Velocidad actual del servo
- MovPos.Done: Flanco positivo, destino alcanzado



- MovPos.Active: Inicio del movimiento con función posicionamiento absoluto
- SetPos.Done: Flanco positivo, cambio de consigna ok
- ParoServo.Done: Flanco positivo, parada servo ok
- MDT\_ParMax: Consigna límite de Par
- MDT\_ParControl: Consigna de regulación de Par
- RatioAcople: Ratio de acople
- Acople.InGear: Flanco positivo Acople Ok
- AT\_TorqueFeedbackValue: Feedback de Par actual en el servo

### VAR:

- SP\_Vel: Setpoint de velocidad en centésimas de grado
- SP\_PosTarget: Setpoint de posición destino
- SP\_Aut: Setpoint de posición en automático
- SP\_PosActual: set pos de la posición actual del servo
- Sick.PosAct: posición actual del encoder absoluto de Sick
- AuxDone0: auxiliar detectar flanco de operación "Done"
- AuxDone1: auxiliar detectar flanco de operación "Done"
- AuxDone2: auxiliar detectar flanco de operación "Done"

\* Toda la secuencia condicionada a Aut y no Def

## 4.3.4 Control del movimiento del Wind Shield

Estrategia de control

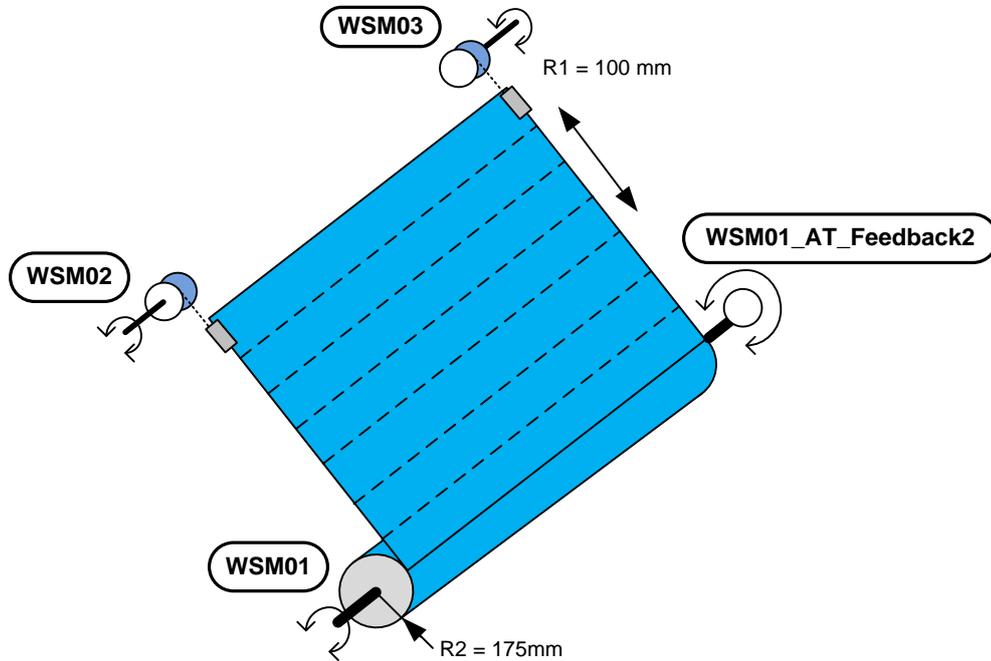


Fig. 4.3.4.1 - Movimiento Wind Shield. Esquema lógico de control

En un principio se pensó en realizar un control de par para el servo WSM01 y que de esta forma actuara como un tensor mecánico del tambor de una persiana convencional. Pero el hecho de que este par era desconocido y la lona podía ser dañada llevó a utilizar un control de posición de los 3 ejes atendiendo a los parámetros constructivos.

Para ello se establece un eje como maestro (WSM02) y los otros dos se acoplan como esclavos. Hay que tener en cuenta que el desarrollo lineal de una vuelta de motor de los servos superiores (WSM02 y WSM03) no equivale al desarrollo de una vuelta del servo inferior:

- WSM02-WSM03: atacan a un tambor de  $\phi=200$  mm a través de una reductora de índice 28;
  - 1 vuelta de motor  $\rightarrow \pi \cdot R1 / i = \pi \cdot 100 / 28 = 11,2199$ mm de avance de lineal de la lona
  - 1 vuelta de motor  $\rightarrow 36.000 / 28 = 1285,71428$ cº de tambor
- WSM01 ataca a un tambor de  $\phi=350$  mm a través de un reductora de índice 40. Además la lona se enrolla en 2 capas que hacen variar el radio en función de la posición.
  - 1 vuelta de motor  $\rightarrow \pi \cdot R2 / i = \pi \cdot 175 / 40 = 13,7444$ mm de avance de lineal de la lona
  - 1 vuelta de motor  $\rightarrow 36.000 / 40 = 900$ cº de tambor



Las unidades de trabajo son  $c^\circ$  de tambor para las consignas de posición y  $c^\circ/\text{seg}$  para las consignas de velocidad. El recorrido total del WS son  $36^\circ$  de la cúpula que equivalen a 5 vueltas del tambor superior, o lo que es lo mismo,  $36.000 \cdot 5 = 180.000c^\circ$

Por tanto, la relación de acople debe ser  $100 / 175 = 0,571429$  debido a la diferencia en los radios de los tambores. Esto quiere decir que por una vuelta del tambor superior, el inferior debe dar 0,571429 vueltas. Esta relación de acople depende de las capas arrolladas en el tambor inferior, teniendo en cuenta que el radio inferior aumenta:  $100 / 180 = 0,5555$ , la relación de acople disminuye.

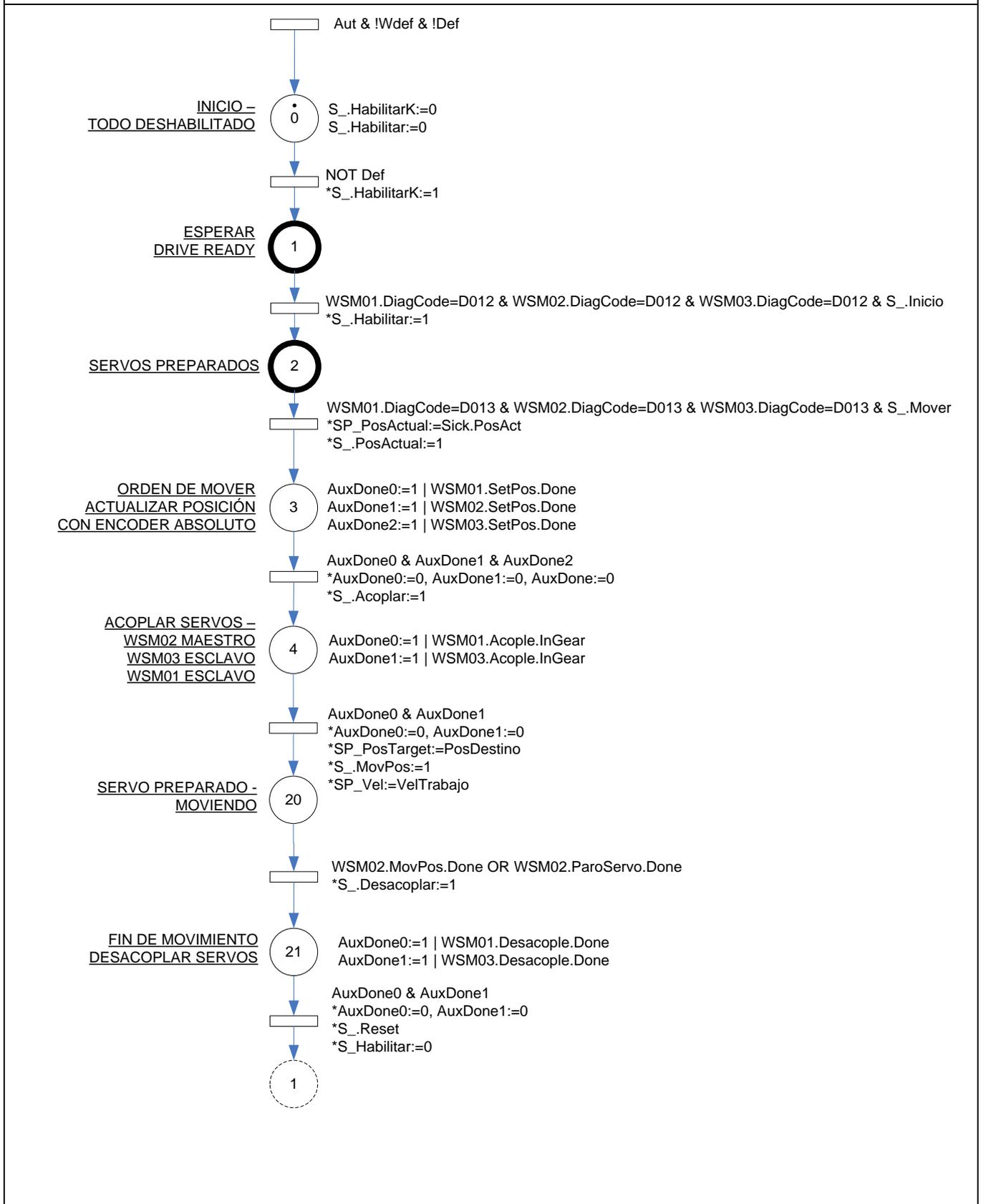
Al principio del movimiento, se toma lectura del encoder absoluto WSM01\_AT\_Feedback2 y se actualizan los 3 encoders relativos, uno por cada servo. Se establece la consigna de posición y de velocidad, se acoplan los ejes (WSM02 como maestro y los otros 2 como esclavos) y se ejecuta la orden de movimiento hasta que alcancen el destino.

Las variables y funciones utilizadas son:

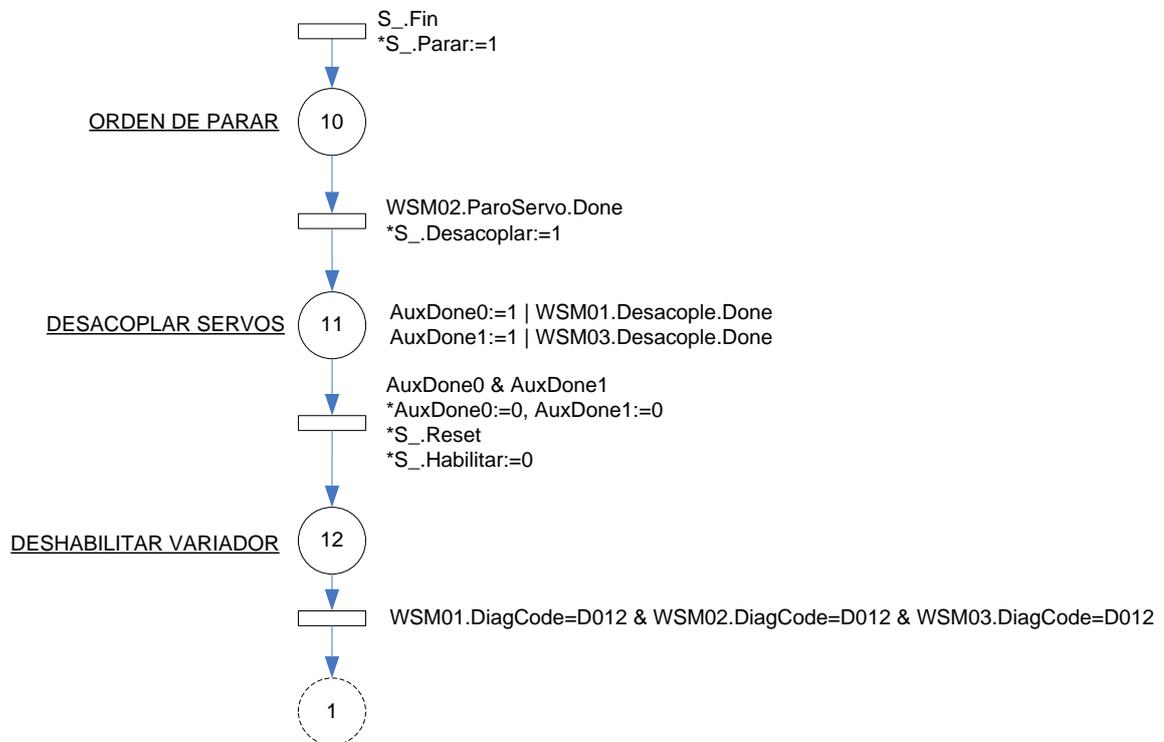
Variable de PLC	Tipo de dato (Librería Sercos)
WSM01, WSM02, , WSM03	AxisRef
WSM01.MovPos, WSM02.MovPos, WSM03.MovPos	MC_MoveAbsolute
WSM01.SetPos, WSM02.SetPos, WSM03.SetPos	
WSM01.Acople.InGear, WSM02.Acople.InGear, WSM03.Acople.InGear	MC_GearInDyn
WSM01.Desacople, WSM02.Desacople, WSM03.Desacople	MC_GearOut



## Diagrama de flujo del movimiento del Wind Shield en modo automático



El pulsador de Fin en cualquier momento ejecuta secuencia de parada  
Y se inicializa



## NOMENCLATURA DE LAS VARIABLES:

### **S\_:** Pulsadores y flags de habilitación

- HabilitarK: Habilitar contactor de potencia
- Habilitar: Habilitar variador
- Inicio: Habilitar inicio del movimiento en automático
- Mover: Habilitar movimiento al servo
- Fin: Finalizar el movimiento en automático
- MovPos: Habilitar movimiento en posición
- Parar: Detener movimiento en curso
- PosActual: Habilitar cambio de posición actual

### **K\_:** Constantes

- DifPos\_Ext: Diferencia de valor entre encoder Servo y encoder Externo
- PosAbierto: Cota de posición Windshield abierto
- PosCerrado: Cota de posición Windshield cerrado
- ParMaxAbrir: Valor limite de Par en maniobra de apertura Windshield %
- ParMaxCerrar: Valor limite de Par en maniobra de cierre Windshield %
- ParControlAbrir: Valor de control de regulación de Par al abrir %
- ParControlCerrar: Valor de control de regulación de Par al cerrar %



### WSM0x:

- DiagCode: Número de diagnóstico que indica el estado del eje.
- ActPos: Posición actual del servo
- MovPos.Done: Flanco positivo, destino alcanzado
- SetPos.Done: Flanco positivo, cambio de consigna ok
- ParoServo.Done: Flanco positivo, parada servo ok
- MDT\_ParMax: Consigna límite de Par
- MDT\_ParControl: Consigna de regulación de Par
- RatioAcople: Ratio de acople
- Acople.InGear: Flanco positivo Acople Ok

### VAR:

- SP\_Vel: Setpoint de velocidad en centésimas de grado
- SP\_PosTarget: Setpoint de posición destino
- SP\_Aut: Setpoint de posición en automático
- SP\_PosActual: set pos de la posición actual del servo
- Sick.PosAct: posición actual del encoder absoluto de Sick
- AuxDone0: auxiliar detectar flanco de operación "Done"
- AuxDone1: auxiliar detectar flanco de operación "Done"
- AuxDone2: auxiliar detectar flanco de operación "Done"

\* Toda la secuencia condicionada a Aut y no Def

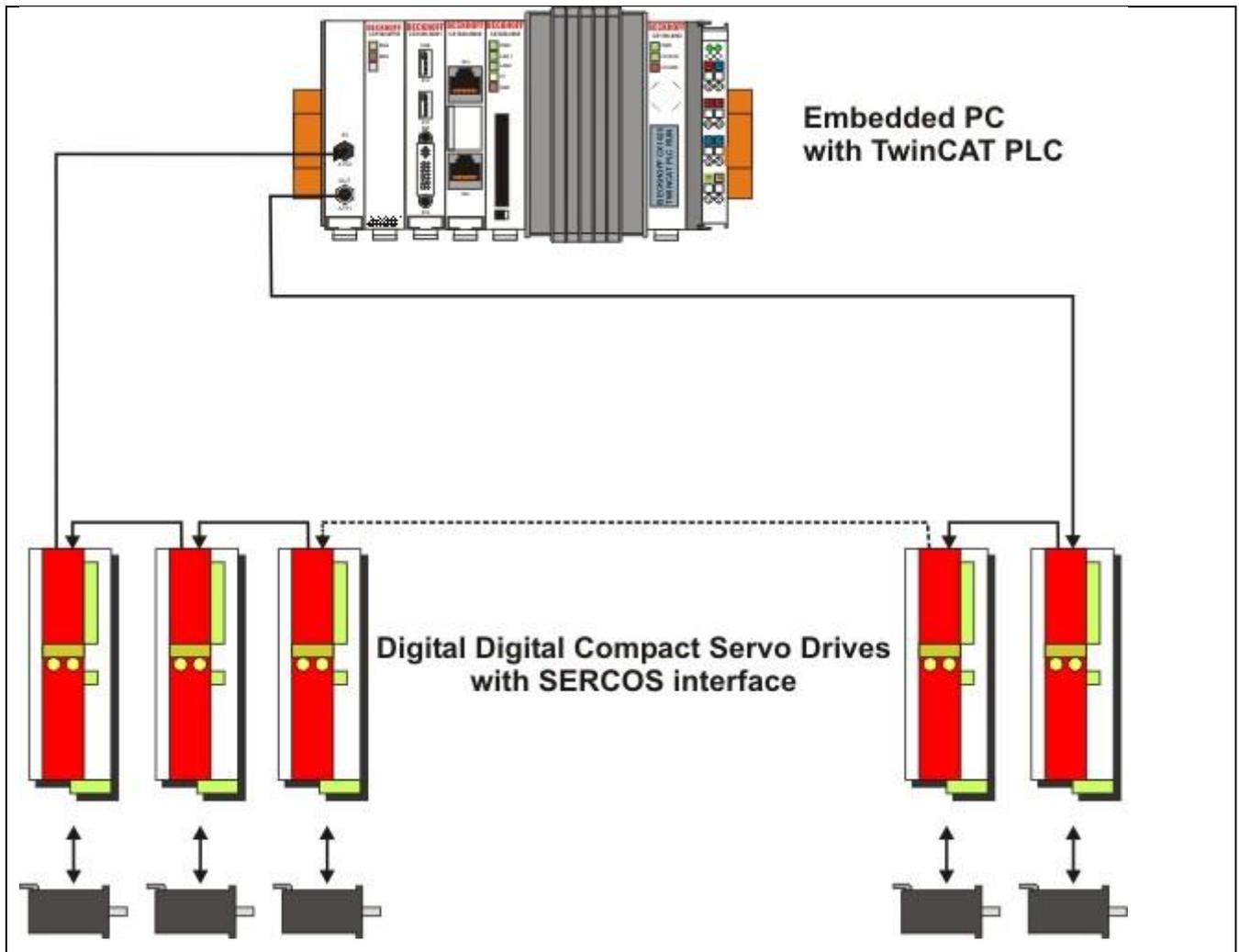


### 4.4 Control de los ejes NC: librería Sercos

En el campo de Sistemas de Control Industrial, la interfaz de los diferentes componentes de control debe proporcionar un medio para coordinar las señales y comandos enviados entre los módulos de control. Si bien la coordinación estricta es deseable para entradas y salidas discretas, es especialmente importante en controles de movimiento ("motion control"), donde dirigir el movimiento de los ejes individuales deben ser coordinados con precisión de modo que el movimiento de todo el sistema sigue una trayectoria deseada.

Equipo de este tipo que requiere dicha coordinación, por ejemplo, son máquinas cortadoras de metal, robótica, maquinaria de impresión, máquinas de embalaje y equipo para manejar materiales. La interfaz "SERCOS" (Sistema de Comunicación Serial en Tiempo Real – "Serial Real-time Communication System") es una interfaz estandarizada a nivel mundial de interfaz digital abierta para la comunicación entre los controles industriales, dispositivos de movimiento ("drives"), y los dispositivos de entrada y salida ("I/O").

Se clasifica como norma IEC 61491 y EN 61491. La interfaz de SERCOS está diseñado para proporcionar en tiempo real, las comunicaciones de alto rendimiento entre los controles de movimiento industrial ("motion control") y las unidades digitales de los servos ("servo drive").



## Versiones

- SERCOS-I fue lanzado en 1991. El medio de transmisión utilizado es de fibra óptica. La velocidad de datos soportada son 2 y 4 MBit/s, y las velocidad de actualización cíclica tan baja como 62.5 microsegundos. Se usa una topología en anillo. SERCOS-I también soporta un “Canal de Servicio” que permite la comunicación asíncrona con esclavos para los datos menos críticos de tiempo.
- SERCOS-II fue introducido en 1999. Amplió la velocidad de datos soportados a 2, 4, 8 y 16 MBit/s.
- SERCOS III une los aspectos en tiempo real de la interfaz de SERCOS con el estándar Ethernet/EtherCAT.



### Características

Las características importantes de la interfaz de SERCOS incluyen:

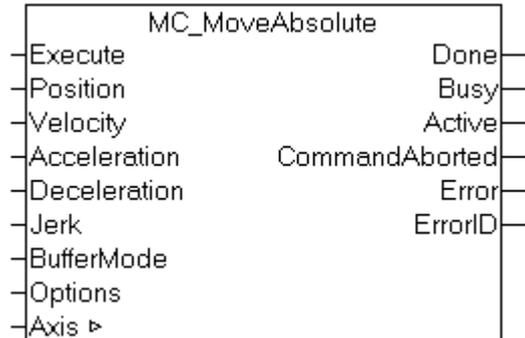
- Comunicación libre de colisiones mediante el uso de un mecanismo de tiempo de ranura (time-slot)
- Protocolo de comunicación altamente eficiente (pocas “overhead”)
- Telegrama extremadamente bajo en jitter (determinado a menos de 1 microsegundo, en la práctica tan bajo como 35 nanosegundos)
- Perfiles normalizados altamente desarrollados acordado por grupos de múltiples proveedores de trabajo técnico para la interoperabilidad segura de dispositivos de distintos fabricantes.
- Capacidad de controlar, por ejemplo, 70 ejes de movimiento en una actualización de 250 microsegundos para cada unidad (drive). (SERCOS-III).

El movimiento de control de la biblioteca TwinCAT PLC TcMC2 (TwinCat Motion Control 2) incluye bloques de función para aplicaciones de máquinas de programación y representa un desarrollo ulterior de la biblioteca TCMC. TcMC2 se basa en la especificación PLCopen revisada de control de movimiento de bloques de función V2.0. Esta biblioteca y las funciones implementadas se describen a continuación.

Si TwinCAT se instala con la capacidad de función NC (mínimo: Nivel TwinCAT NC PTP), verá "NC de configuración" en la vista de árbol del Administrador del sistema. Aquí puede crear los ejes necesarios y establecer sus parámetros. Cuando se inicia TwinCAT, también es posible conducir los ejes a través de los diálogos en línea correspondientes (NC Menú Manual, Display línea de distribuidores de Axis) y llevar a cabo otras funciones como eje NC acoplamiento manuales, etc.).

## 4.4.1 Librería TcMC2: bloques de función

### MC\_MoveAbsolute



*MC\_MoveAbsolute* comienza el posicionamiento a una posición absoluta de destino y supervisa el movimiento del eje a lo largo de toda la trayectoria de desplazamiento. La salida *Done* se establece una vez que se ha alcanzado la posición de destino. De lo contrario el *CommandAborted* o, en caso de error, se activa la salida de *Error*.

*MC\_MoveAbsolute* se utiliza principalmente para sistemas de ejes lineales. Para ejes módulo de la posición no se interpreta como una posición de módulo, sino como una posición absoluta en el sistema de coordenadas absolutas continua. Alternativamente, el bloque de *MC\_MoveModulo* puede ser utilizado para el posicionamiento de módulo.

Instrucciones de desplazamiento se pueden pasar a ejes de seguimiento si están habilitados de forma explícita en los parámetros del eje. Un comando de movimiento a continuación, desacoplar el eje y moverlo después. En este caso se puede utilizar sólo *Buffer-ModeAborting*.



## Inputs

Execute	The command is executed with a rising edge at input <i>Execute</i> .
Position	Absolute target position to be used for positioning.
Velocity	Maximum travel velocity (>0).
Acceleration	Acceleration ( $\geq 0$ ). If the value is 0, the standard acceleration from the axis configuration in the System Manager is used.
Deceleration	Deceleration ( $\geq 0$ ). If the value is 0, the standard deceleration from the axis configuration in the System Manager is used.
Jerk	Jerk ( $\geq 0$ ). If the value is 0, the standard jerk from the axis configuration in the System Manager is used.
BufferMode	<p>The <u>BufferMode</u> is analysed, if the axis is already executing another command. The running command can be aborted, or the new command becomes active after the running command. The BufferMode also determines the transition condition from the current to the next command.</p> <p>If the command is passed to a slave axis just Buffermode <i>Aborting</i> can be used.</p> <p>A second instance of a Move function block is required to use the BufferMode. It is not possible to trigger the same function block with different parameters as long as it is busy.</p>
Options	The data structure <i>Option</i> includes additional, rarely required parameters. The input can normally remain open.

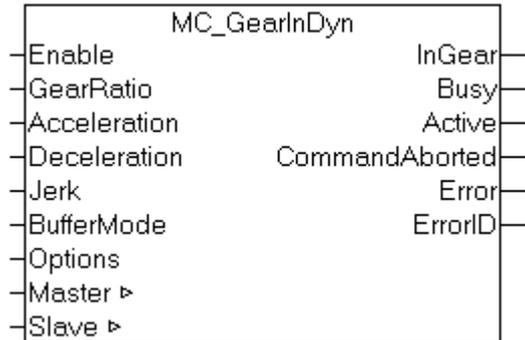
## Outputs

Done	The <i>Done</i> output becomes TRUE once the target position was reached.
Busy	The <i>Busy</i> output becomes TRUE when the command is started with <i>Execute</i> and remains TRUE as long as the motion command is processed. When <i>Busy</i> becomes FALSE again, the function block is ready for a new command. At the same time one of the outputs, <i>Done</i> , <i>CommandAborted</i> or <i>Error</i> , is set.
Active	Active indicates that the command is executed. If the command was queued, it becomes active once a running command is completed.
CommandAborted	Becomes TRUE, if the command could not be fully executed. The axis may have been stopped, or the running command may have been followed by a further Move command.
Error	Becomes TRUE if an error occurs.
ErrorID	If the error output is set, this parameter supplies the <u>error number</u> .

## Inputs/outputs

Axis	Axis data structure
------	---------------------

## MC\_GearInDyn



El bloque *MC\_GearIn* activa un acoplamiento maestro-esclavo lineal (acoplamiento de engranajes). La relación de transmisión se puede ajustar dinámicamente durante cada ciclo de PLC para el acoplamiento maestro / esclavo controlado. El parámetro de aceleración tiene un efecto limitante en situaciones con grandes variaciones de relación de transmisión.

El eje esclavo se puede desacoplar con el bloque de función *MC\_GearOut*. Si el esclavo se desacopla mientras se está moviendo, a continuación, que conserva su velocidad y se puede detener el uso de *MC\_Stop* o *MC\_Halt*.

Alternativamente, el *MC\_GearIn* bloque con relación de transmisión variable de forma dinámica está disponible.



## Inputs

Enable	Coupling is activated with a rising edge at input <i>Enable</i> . The gear ratio can be changed cyclically as long as <i>Enable</i> is TRUE. The command is terminated if <i>Enable</i> becomes FALSE after coupling. The gear ratio is frozen at its last value, but the slave is not decoupled.
GearRatio	Gear ratio as floating comma value. The gear ratio can be changed cyclically as long as <i>Enable</i> is TRUE. If <i>Enable</i> is FALSE the gear ratio remains unchanged.
Acceleration	Acceleration ( $\geq 0$ ). If the value is 0, the standard acceleration from the axis configuration in the System Manager is used. The parameter limits the acceleration of the slave in situations with large gear ratio variations. The maximum acceleration will be reached when the master is moving at its maximum velocity. The slave acceleration may be lower if the master is moving at slower speed.
Deceleration	Deceleration ( $\geq 0$ ). (Not implemented)
Jerk	Jerk ( $\geq 0$ ). (Not implemented)
BufferMode	Currently not implemented
Options	Currently not implemented

## Outputs

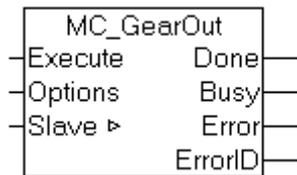
InGear	Becomes TRUE, if the coupling was successful.
Busy	The <i>Busy</i> output becomes TRUE when the command is started with <i>Enable</i> and remains TRUE as long as the command is processed. When <i>Busy</i> becomes FALSE again, the function block is ready for a new command. At the same time one of the outputs, <i>InGear</i> , <i>CommandAborted</i> or <i>Error</i> , is set.
Active	Active indicates that the command is executed (currently Active=Busy, see BufferMode)
CommandAborted	Becomes TRUE, if the command could not be fully executed. The axis may have become decoupled during the coupling process (simultaneous command execution).
Error	Becomes TRUE if an error occurs.
ErrorID	If the error output is set, this parameter supplies the <u>error number</u> .

## Inputs/outputs

Master	Master axis data structure.
Slave	Slave axis data structure.



## MC\_GearOut



El bloque *MC\_GearOut* desactiva un acoplamiento maestro-esclavo.

Nota: Si un eje esclavo es desacoplado durante el movimiento, no se detiene automáticamente, pero alcanza una velocidad continua con la que seguirá el movimiento sin cesar. El eje se puede detener con *MC\_Stop* o *MC\_Halt*.



**MC\_MoveSuperImposed**

MC_MoveSuperImposed	
-Execute	Done
-Mode	Busy
-Distance	Active
-VelocityDiff	CommandAborted
-Acceleration	Error
-Deceleration	ErrorID
-Jerk	Warning
-VelocityProcess	WarningId
-Length	ActualVelocityDiff
-Options	ActualDistance
-Axis ▾	ActualLength
	ActualAcceleration
	ActualDeceleration

El FB MC\_MoveSuperImposed manda un movimiento relativo sobre el movimiento ya activo. El movimiento activo no se interrumpe, pero se superpone con el mandado. El movimiento siempre se ejecuta sin tirones, limitado con la entrada de ajuste constante "jerk". Este valor es válido en ambas situaciones: "aceleración" y "desaceleración".

Si el eje se encuentra en un estado de movimiento y recibe un comando por medio de este FB, esto conduce a una interpolación superpuesta y por lo tanto a un cambio de velocidad y un cambio en la posición de destino del movimiento activo.

Como los valores de "aceleración" también se superponen en el caso de la interpolación superpuesta, los parámetros de eje correspondientes deben ser definidos para asegurar que el eje no está sobrecargado dinámicamente.



## Inputs

Execute	The command is executed with a rising edge at input <i>Execute</i> .	
Mode	<u>Mode</u> determines the type of the superimposed motion.	
Distance	Relative distance to catch up. A positive value means increase in velocity by an amount required to cover the additional distance, compared with the unaffected movement. A negative value results in braking and falling back by this distance.	
VelocityDiff	<p>Maximum velocity difference to the current velocity (basic velocity) of the axis (&gt;0).</p> <p>For this parameter a distinction may have to be made, depending on the superimposition direction (acceleration or deceleration). If, for example, a direction reversal is not permitted, the maximum available acceleration corresponds to the maximum velocity, and the maximum deceleration to stop. Therefore, there are two possible maximum values for VelocityDiff:</p> <ol style="list-style-type: none"><li>1. Distance &gt; 0 (axis accelerates) VelocityDiff = maximum velocity - basic velocity</li><li>2. Distance &lt; 0 (axis decelerates) VelocityDiff = basic velocity</li></ol>	
Acceleration	Acceleration ( $\geq 0$ ). If the value is 0, the standard acceleration from the axis configuration in the System Manager is used.	
Deceleration	Deceleration ( $\geq 0$ ). If the value is 0, the standard deceleration from the axis configuration in the System Manager is used.	
Jerk	Jerk ( $\geq 0$ ). If the value is 0, the standard jerk from the axis configuration in the System Manager is used.	
VelocityProcess	Mean process velocity in the axis (>0). If the basic velocity during superposition is constant, the set axis velocity can be specified.	
Length	Distance over which the superimposed movement is available. The Mode parameter defines how this distance is interpreted.	
Options	The data structure option includes additional, rarely required parameters. The input can normally remain open.	
Options.	AbortOption	<u>AbortOption</u> defines the behaviour when the subordinate movement stops. The superimposed movement can be aborted or continued later.



## Outputs

Done	The <i>Done</i> output becomes TRUE, once the superimposed movement was completed successfully.
Busy	The <i>Busy</i> output becomes TRUE when the command is started with <i>Execute</i> and remains TRUE as long as the motion command is processed. When <i>Busy</i> becomes FALSE again, the function block is ready for a new command. At the same time one of the outputs, <i>Done</i> , <i>CommandAborted</i> or <i>Error</i> , is set.
Active	Active indicates that the command is executed
CommandAborted	Becomes TRUE, if the command was aborted by another command and could therefore not be completed.
Error	Becomes TRUE if an error occurs.
ErrorID	If the error output is set, this parameter supplies the <u>error number</u> .
Warning	Becomes TRUE in case of a warning. The command will be executed but the <i>ActualDistance</i> may be less than the commanded <i>Distance</i> . <i>Done</i> will be set after execution if no other error comes up.
WarningID	The block returns warning 4243 <sub>hex</sub> (16963) if the compensation was incomplete due to the parameterisation (distance, velocity etc.). In this case compensation is implemented as far as possible. The user has to decide whether to interpret this warning message within his application as a proper error or merely as a warning.
ActualVelocityDiff:	Actual velocity difference during the superimposed motion ( <i>ActualVelocityDiff</i> &#8804; <i>VelocityDiff</i> ).
ActualDistance:	Actual superimposed distance. The block tries to reach the full <i>Distance</i> as specified. This distance may not be reached fully, depending on the parameterisation ( <i>VelocityDiff</i> , <i>Acceleration</i> , <i>Deceleration</i> , <i>Length</i> , <i>Mode</i> ). In this case the maximum possible distance is superimposed. ( <i>ActualDistance</i> &#8804; <i>Distance</i> ).
ActualLength:	Actual travel during superimposed motion ( <i>ActualLenght</i> &#8804; <i>Length</i> ).
ActualAcceleration	Actual acceleration difference during the superimposed motion ( <i>ActualAcceleration</i> ≤ <i>Acceleration</i> ).
ActualDeceleration	Actual deceleration difference during the superimposed motion ( <i>ActualAcceleration</i> ≤ <i>Acceleration</i> ).



### 4.4.2 Librería Sercos: estructuras de datos predeterminadas

#### AXIS\_REF

El tipo de datos AXIS\_REF contiene información del eje. AXIS\_REF es una interfaz entre el PLC y el NC. Se agrega a los bloques de función MC como eje de referencia.

```
TYPE AXIS_REF :  
VAR_INPUT  
  PlcToNc    AT %Q*      : PLCTONC AXIS_REF;  
END_VAR  
VAR_OUTPUT  
  NcToPlc    AT %I*      : NCTOPLC AXIS_REF;  
  ADS        : ST_AdsAddress;  
  Status     : ST_AxisStatus;  
END_VAR  
END_TYPE
```

**PlcToNc:** es una estructura de datos que se intercambian cíclicamente entre el PLC y NC. A través de esta estructura de datos de los bloques de función MC comunican con el NC y enviar información de control del PLC de la NC. Esta estructura de datos se coloca automáticamente en la imagen del proceso de salida del PLC y debe estar vinculada en TwinCAT System Manager de la imagen del proceso de entrada de un eje con NC.

**NcToPlc:** es una estructura de datos que se intercambian cíclicamente entre el PLC y NC. A través de esta estructura de datos de los bloques de función MC comunican con el NC y reciben información de estado de la NC. Esta estructura de datos se coloca automáticamente en la imagen del proceso de entrada del PLC y debe estar vinculado en el Administrador del sistema TwinCAT la imagen del proceso de salida de un eje con NC. Contiene todos los datos de estado principales para un eje, tales como posición, velocidad y estado de instrucción. Dado que el intercambio de datos se lleva a cabo en función del ciclo, el PLC puede acceder al estado actual del eje en cualquier momento y sin esfuerzo de comunicación adicional.

**ADS:** contiene los parámetros de comunicación de telegramas de un eje que se requieren para la comunicación directa ADS. En principio es transparente para el usuario.

**Status:** contiene información de estado adicional o procesada por un eje. Esta estructura de datos no se actualiza cíclicamente, sino que tiene que ser actualizado a través del programa de PLC. La forma más fácil de lograrlo es llamando *MC\_ReadStatus* o bien llamando a la acción *ReadStatus* de *AXIS\_REF*.



## NCToPlc\_AXIS\_REF

La estructura de datos NCTOPLC\_AXIS\_REF es parte de la estructura de datos AXIS\_REF y se actualiza automáticamente por el NC, para que la información actualizada esté disponible durante cada ciclo de PLC. NCTOPLC\_AXIS\_REF también se utiliza como interfaz de eje entre NC y el PLC.

TYPE NCTOPLC\_AXIS\_REF

STRUCT

```
StateDWord          : NCTOPLC_AXIS_REF_STATE; (* Status double word *)
ErrorCode           : UDINT; (* Axis error code *)
AxisState           : UDINT; (* Axis moving status *)
AxisModeConfirmation : UDINT; (* Axis mode confirmation (feedback from NC) *)
HomingState        : UDINT; (* State of axis calibration (homing) *)
CoupleState         : UDINT; (* Axis coupling state *)
SvbEntries          : UDINT; (* SVB entries/orders (SVB = Set preparation task) *)
SafEntries          : UDINT; (* SAF entries/orders (SAF = Set execution task) *)
AxisId             : UDINT; (* Axis ID *)
OpModeDWord        : NCTOPLC_AXIS_REF_OPMODE; (* Current operation mode *)
ActPos             : LREAL; (* Actual position (absolut value from NC) *)
ModuloActPos       : LREAL; (* Actual modulo position *)
ActiveControlLoopIndex : UINT; (* Active control loop index *)
ControlLoopIndex   : UINT; (* Axis control loop index (0, 1, 2, when multiple control loops are used) *)
ModuloActTurns     : DINT; (* Actual modulo turns *)
ActVelo            : LREAL; (* Actual velocity *)
PosDiff            : LREAL; (* Position difference (lag distance) *)
SetPos             : LREAL; (* Setpoint position *)
SetVelo            : LREAL; (* Setpoint velocity *)
SetAcc             : LREAL; (* Setpoint acceleration *)
TargetPos          : LREAL; (* Estimated target position *)
ModuloSetPos       : LREAL; (* Setpoint modulo position *)
ModuloSetTurns    : DINT; (* Setpoint modulo turns *)
CmdNo              : UINT; (* Continuous actual command number *)
CmdState           : UINT; (* Command state *)
SetJerk            : LREAL; (* Setpoint jerk *)
SetTorque          : LREAL; (* Setpoint torque *)
ActTorque          : LREAL; (* Actual torque *)
StateDWord2        : DWORD;
StateDWord3        : DWORD;
TouchProbeState    : DWORD; (* State of touch probe *)
TouchProbeCounter  : DWORD;
CamCouplingState   : USINTARR8;
CamCouplingTableID : USINTARR8;
_reserved1         : ARRAY [1..72] OF USINT; (* Reserved - internal use *)
```

END\_STRUCT

END\_TYPE



## PlcToNC\_AXIS\_REF

La estructura de datos PLCTONC\_AXIS\_REF es parte de la estructura de datos AXIS\_REF y transfiere cíclicamente información del PLC al eje NC. PLCTONC\_AXIS\_REF también se conoce como eje de interfaz entre el PLC y NC.

```
TYPE PLCTONC_AXIS_REF
```

```
STRUCT
```

```
ControlDWord          : PLCTONC_AXIS_REF_CTRL; (* Control double word *)
Override              : UDINT; (* Velocity override *)
AxisModeRequest       : UDINT; (* Axis operating mode (PLC request) *)
AxisModeDWord        : UDINT; (* Optional mode parameter *)
AxisModeLReal        : LREAL; (* Optional mode parameter *)
PositionCorrection    : LREAL; (* Correction value for current position *)
ExtSetPos             : LREAL; (* External position setpoint *)
ExtSetVelo           : LREAL; (* External velocity setpoint *)
ExtSetAcc             : LREAL; (* External acceleration setpoint *)
ExtSetDirection      : UDINT; (* External direction setpoint *)
_reserved1           : UDINT; (* Reserved *)

ExtControllerOutput   : LREAL; (* External controller output *)
GearRatio1           : LREAL; (* Gear ratio for dynamic multi master coupling modes *)
GearRatio2           : LREAL; (* Gear ratio for dynamic multi master coupling modes *)
GearRatio3           : LREAL; (* Gear ratio for dynamic multi master coupling modes *)
GearRatio4           : LREAL; (* Gear ratio for dynamic multi master coupling modes *)
MapState             : BOOL;
PlcCycleControl      : BYTE;
PlcCycleCount        : BYTE;
_reserved2           : ARRAY [1..21] OF USINT; (* Reserved - internal use *)
```

```
END_STRUCT
```

```
END_TYPE
```

## 5 Configuración del hardware del sistema

Toda la configuración del hardware instalado se lleva a cabo con la aplicación TwinCat System Manager. Las funciones principales de este proyecto configuradas son:

- Configuración de la comunicación entre el PC de programación y el PLC. En este caso se hace vía Ethernet accediendo a la IP del sistema operativo embebido en la CPU.
- Configuración de E/S. Bus interno EtherCat:
  - Tarjetas de entradas y salidas digitales,
  - PLC de seguridad,
  - Drives,
  - Tarjetas de comunicación: Profibus, SSI.
- Configuración de los ejes de movimiento NC.
- Configuración del PLC. Asignaciones entre las señales de campo y las variables de PLC.

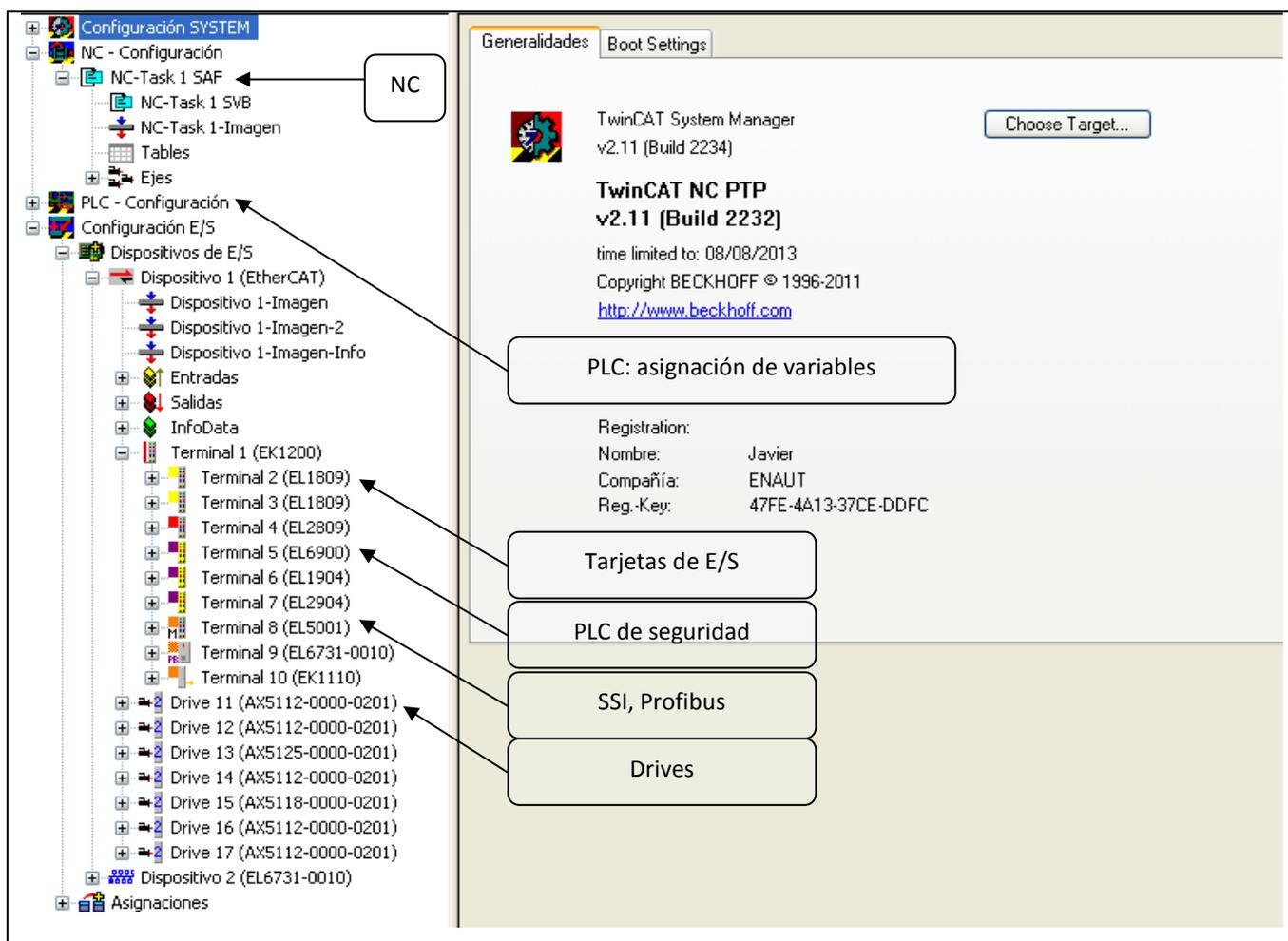


Fig. 5.1 – Vista general TwinCat System Manager

## 5.1 Configuración de E/S. Red EtherCat

Una vez realizada la conexión con la CPU, si todo el hardware está conectado se puede “Cargar la configuración Online” y automáticamente importa todas las tarjetas instaladas en la red EtherCat.

### 5.1.1 Tarjetas Profibus

Es necesario definir el área de direccionamiento a intercambiar. El número de datos y su distribución debe ser igual tanto en el maestro como en el esclavo. A cada tarjeta hay que darle una dirección única en la red Profibus, de 0 a 125. En caso de ser una tarjeta esclava, es necesario indicar la dirección del maestro. Una vez definida el área de intercambio, se asignan las variables de PLC donde se leen y escriben los datos.

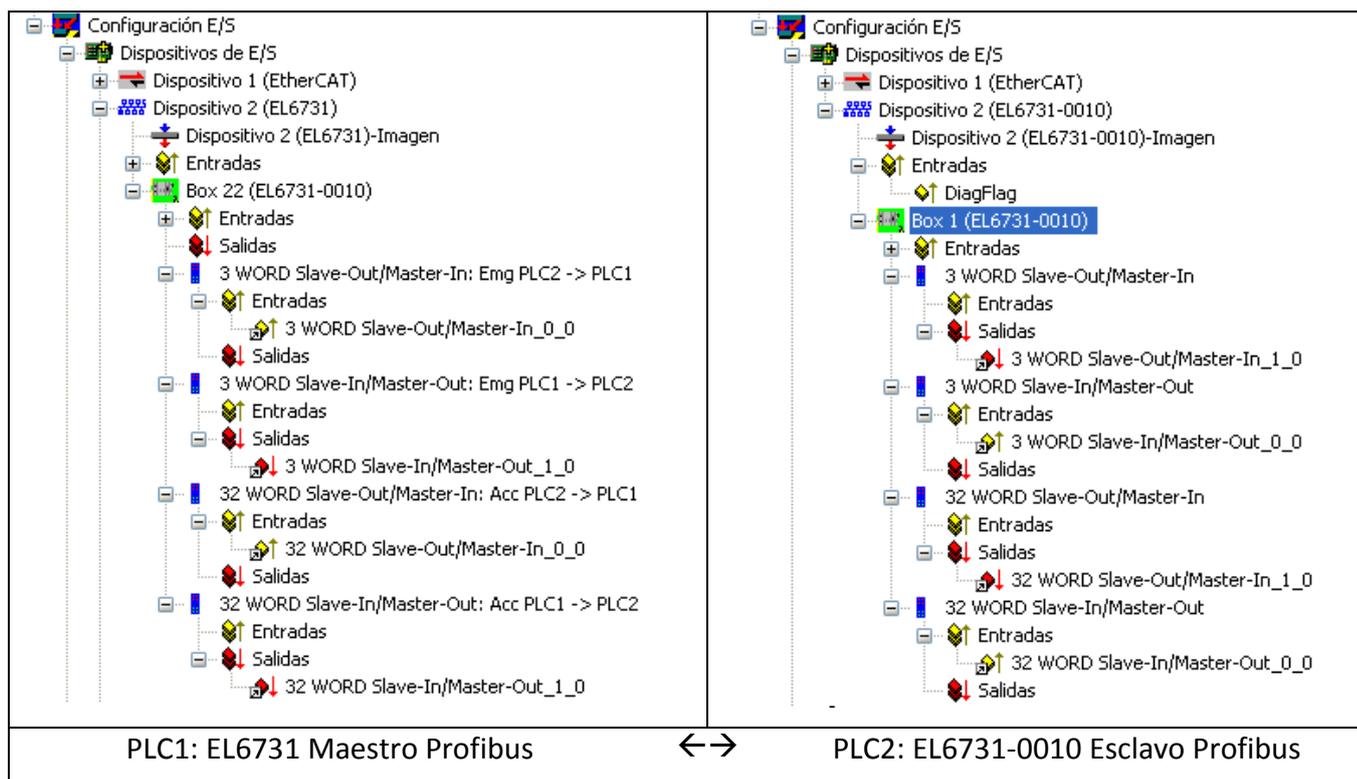


Fig. 5.1.1.1 – Configuración tarjetas Profibus intercambio PLC1-PLC2 de emergencias y variables de movimiento

## 5.1.2 PLC de seguridad

El primer paso es introducir el controlador y todas las tarjetas de E/S seguras necesarias para recoger las señales de campo. Cada tarjeta lleva una codificación en interruptores DIP que debe ser única e introducida en la configuración hardware.

- PLC1
  - o EL6900: controlador de seguridad
  - o 4 tarjetas EL1904: 16 entradas digitales seguras
  - o 1 tarjeta EL2904: 4 salidas digitales seguras
- PLC2
  - o EL6900: controlador de seguridad
  - o 1 tarjeta EL1904: 4 entradas digitales seguras
  - o 1 tarjeta EL2904: 4 salidas digitales seguras

El código de programación de seguridad se realiza directamente en el controlador de seguridad a través de una librería de Function Blocks: Emergency stop, Machine monitoring, AND, OR, Decoupler, Operation Mode, Two hand, EDM, Muting, SR, RS, TON, TOFF y Connection Shutdown.

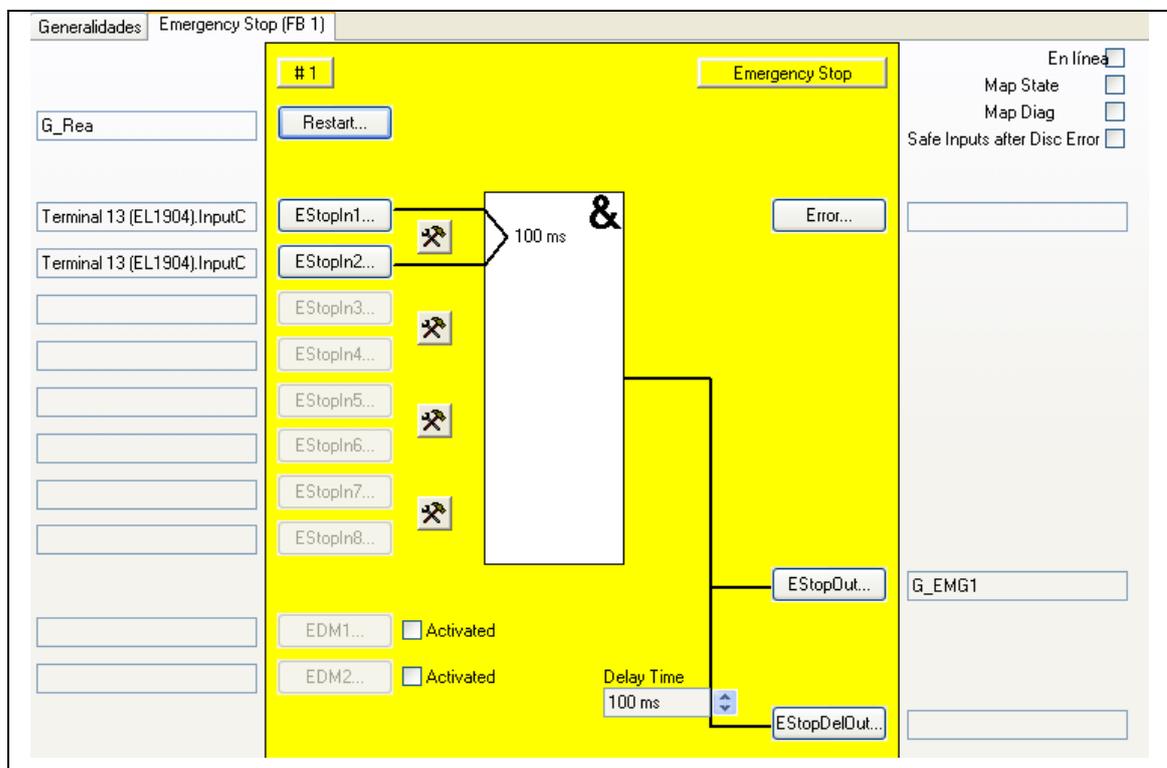


Fig. 5.1.2.1 – PLC1-FB1 de seguridad “Emergency Stop”



## OX00-PLC1: esquema del programa de seguridad

FB	Tipo FB	Entradas	Salidas
FB1	Emergency Stop	Emergencia OX00	G_EMG1
FB2	Emergency Stop	Emergencia 1 planta telescopio	G_EMG2
FB3	Emergency Stop	Emergencia 2 planta telescopio	G_EMG3
FB4	Emergency Stop	Emergencia Sala de control	G_EMG4
FB5	Emergency Stop	Emergencia telescopio	G_EMG5
FB6	Emergency Stop	Emergencia OX01 (Profibus)	G_EMG6
FB7	AND	FB1-Salida FB2-Salida FB3-Salida FB4-Salida FB5-Salida	Emergencia a OX01 Profibus
FB8	AND	FB6-Salida FB7-Salida	G_EMG
FB9	TOF-0,1s	FB8-Salida	EL2908-Output CH1-Contactor 1 EL2908-Output CH3-Contactor 2

## OX01-PLC2: esquema del programa de seguridad

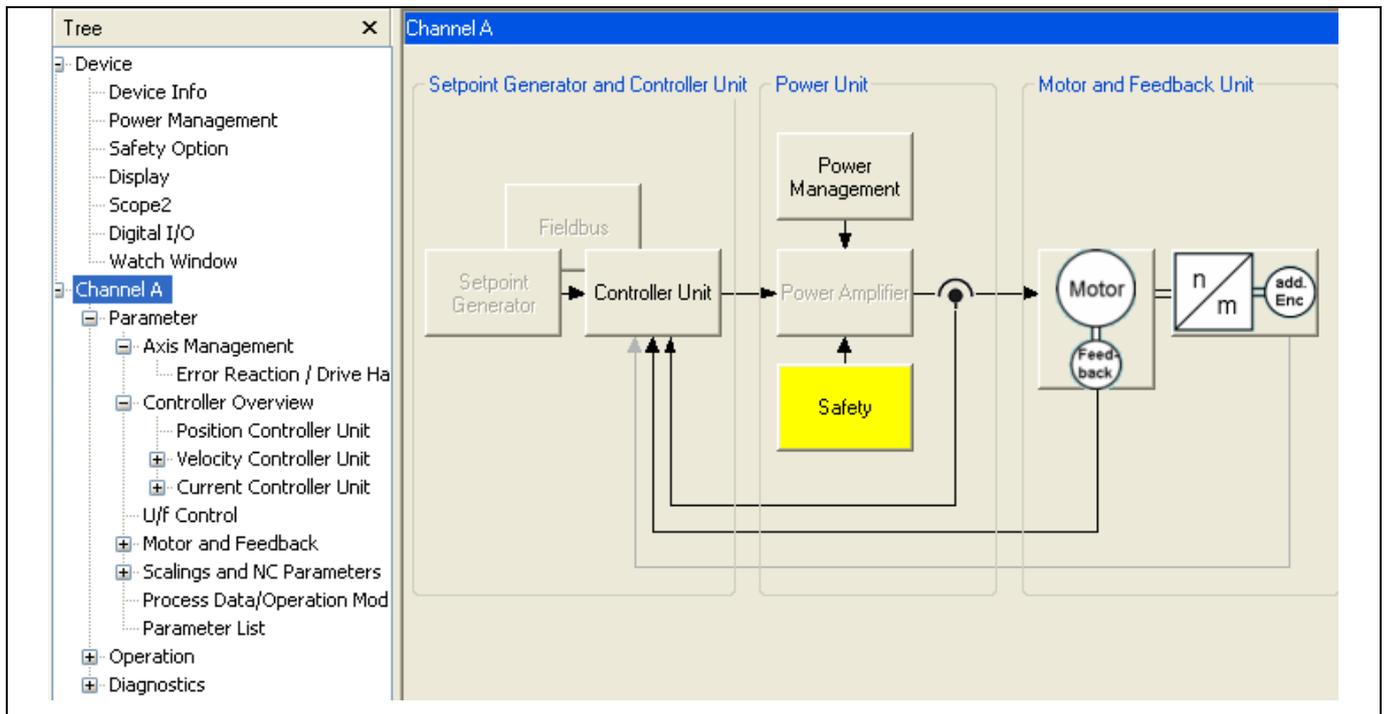
FB	Tipo FB	Entradas	Salidas
FB1	Emergency Stop	Emergencia OX01	Emergencia a OX00 Profibus
FB2	AND	FB1-Salida Emergencia OX00 (Profibus)	G_EMG
FB3	TOF-3,5s	FB2-Salida	EL2908-Output CH1-Drives

## 5.1.3 Drives y servos

En el caso de los servos, esta acción llega hasta los Drives, sólo si el motor lleva encoder absoluto es capaz de leer la placa de características integrada. En caso de encoders relativos, como es el caso actual, habrá que introducir las referencias de los motores y sus sistemas de realimentación. Así como configurar todos los parámetros necesarios para el correcto funcionamiento de la aplicación:

- Asignar el servo y encoder conectado;
- Feed Constant: magnitud real de movimiento ejercida por una vuelta de motor. Esto define las unidades de trabajo de posición y velocidad.
- El Drive lleva integrado los PID's de control de posición, velocidad y corriente. Parametrización.

A modo de ejemplo se expone la configuración del primer servo del movimiento acimutal AZM01



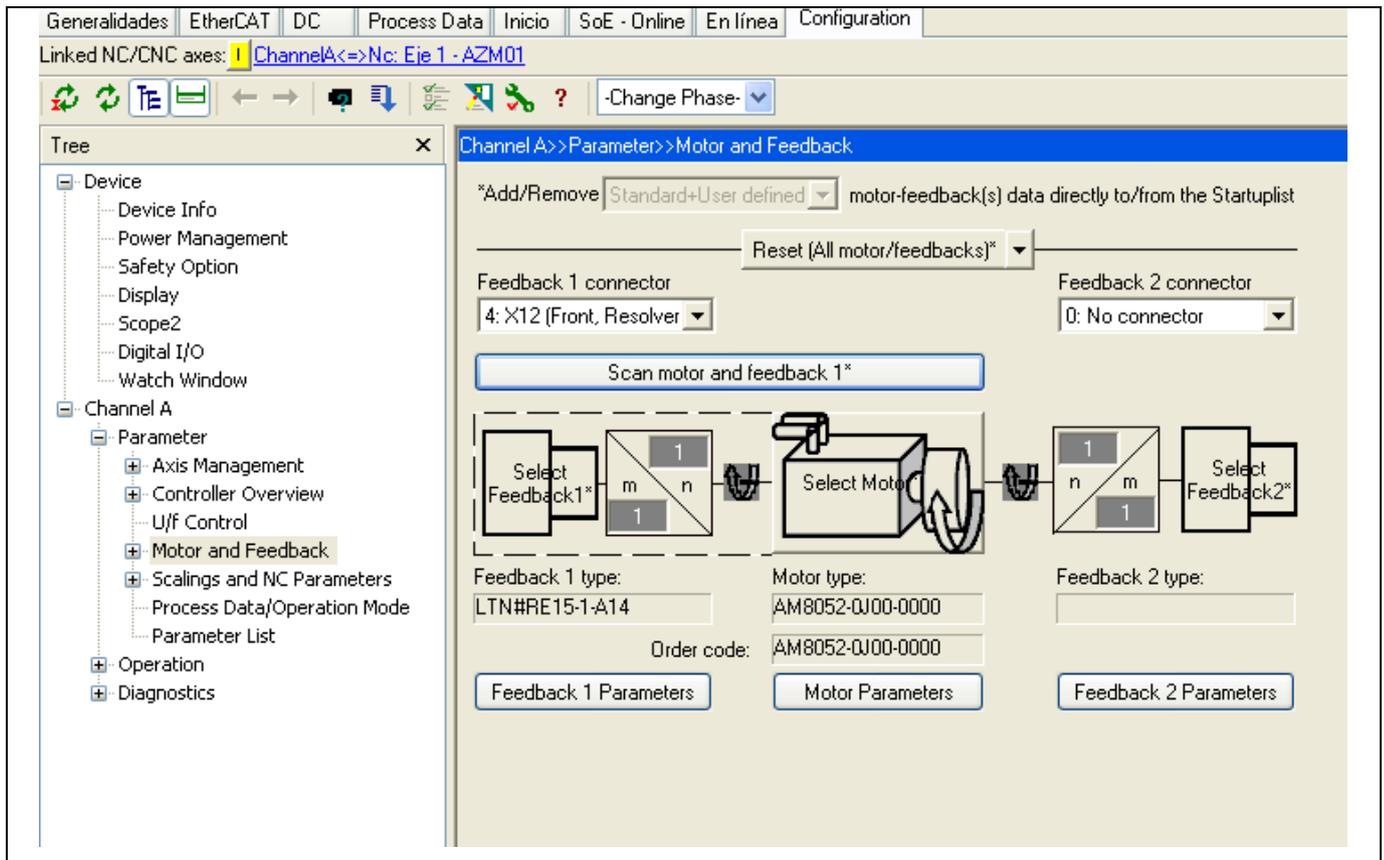


Fig. 5.1.3.1 – Configuración Drive, servo y feedback

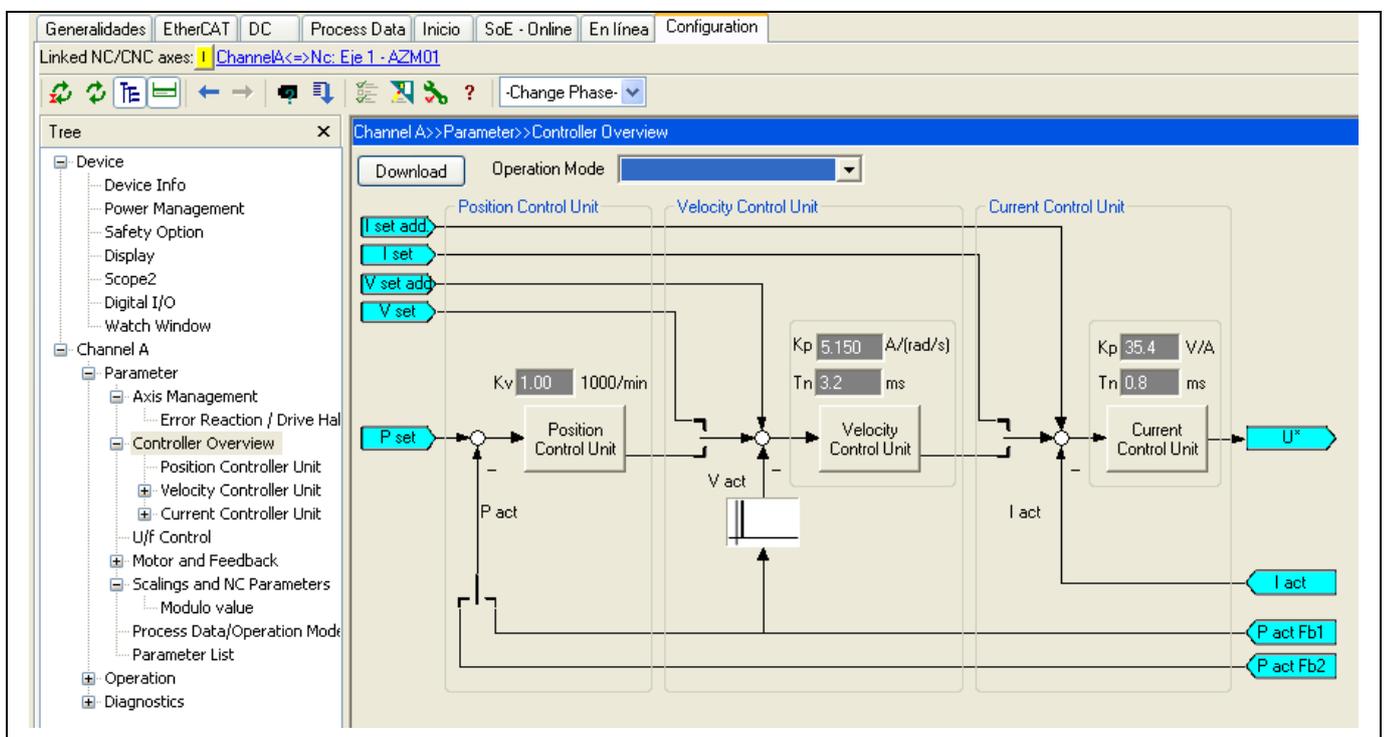


Fig. 5.1.3.2 – Configuración del controlador del Drive



Tree

- Device
  - Device Info
  - Power Management
  - Safety Option
  - Display
  - Scope2
  - Digital I/O
  - Watch Window
- Channel A
  - Parameter
    - Axis Management
      - Error Reaction / Drive Halt
    - Controller Overview
      - Position Controller Unit**
      - Velocity Controller Unit
      - Current Controller Unit
    - U/f Control
    - Motor and Feedback
    - Scalings and NC Parameters
    - Process Data/Operation Mode
    - Parameter List
  - Operation
  - Diagnostics

Channel A >> Parameter >> Controller Overview >> Position Controller Unit

Download

Position Controller Unit

Feed Forward Acceleration

Feed Forward Velocity

Type Linear

Kv 1.00 1000/min

P set (S-0-0047)

IPOL

P-0-0554

S-0-0189

I ff

V\*

P act Fb1 (S-0-0051)

P act Fb2 (S-0-0053)

Tree

- Device
  - Device Info
  - Power Management
  - Safety Option
  - Display
  - Scope2
  - Digital I/O
  - Watch Window
- Channel A
  - Parameter
    - Axis Management
      - Error Reaction / Drive Halt
    - Controller Overview
      - Position Controller Unit
      - Velocity Controller Unit**
      - Current Controller Unit
    - U/f Control
    - Motor and Feedback
    - Scalings and NC Parameters
    - Process Data/Operation Mode
    - Parameter List
  - Operation
  - Diagnostics

Channel A >> Parameter >> Controller Overview >> Velocity Controller Unit

Download

Velocity Control Unit

I ff

P-0-0504

Emerg. Decel. 6283.18 rad/s<sup>2</sup> 0

Emerg. Jerk 0 rad/s<sup>3</sup>

Halt Accel. 6283.18 rad/s<sup>2</sup> 0

Halt Jerk 0 rad/s<sup>3</sup>

Ramp+ 6283.18 rad/s<sup>2</sup>

Ramp- 6283.18 rad/s<sup>2</sup>

Vmax 4500 rpm

V set add. (S-0-0037)

V set (S-0-0036)

S-0-0040

5 rpm Standstill Window

Feed Forward Acceleration

K T1 ms

S-0-0347

Kp 5.150 A/(rad/s)

T1 0.150 ms

Tn 3.2 ms

Velocity Filter

Observer

r0 f1 f2 f3

Current command value filter

V act

I act (S-0-0084)

P act Fb1 (S-0-0051)

Tree

- Device
  - Device Info
  - Power Management
  - Safety Option
  - Display
  - Scope2
  - Digital I/O
  - Watch Window
- Channel A
  - Parameter
    - Axis Management
      - Error Reaction / Drive Halt
    - Controller Overview
      - Position Controller Unit
      - Velocity Controller Unit
      - Current Controller Unit**
    - U/f Control
    - Motor and Feedback
    - Scalings and NC Parameters
    - Process Data/Operation Mode
    - Parameter List
  - Operation
  - Diagnostics

Channel A >> Parameter >> Controller Overview >> Current Controller Unit

Download

Current Control Unit

I set add. (S-0-0081)

I set (S-0-0080)

I max+ 100.0 %

I max- 100.0 %

I max 100.0 %

Kp 35.4 V/A

Tn 0.8 ms

P-0-0454

Actual torque generating current

Actual peak current limit

Actual current limit

U\*

Linked NC/CNC axes: ChannelA<=>Nc: Eje 1 - AZM01

Channel A>>Parameter>>Scalings and NC Parameters

Feed constant: 10.3932761252823 \* Save

Nc Scaling factor: 9.911800504e-006 \*/Inc Nc Modulo Scale: 4294967295

Invert Nc-Encoder Counting Direction  Invert Nc-Drive motor polarity

Default parameter settings for linked Nc-axis. The value can be changed later in Nc-axis configuration.

Parameter	Value	Unit
Reference Velocity: 110% of Max motor speed	857.44528033579	*/s
Maximum Velocity: 100% of Max motor speed	779.495709396173	*/s
Manual Velocity (Fast): 30% of Max motor speed	233.848712818852	*/s
Manual Velocity (Slow): 5% of Max motor speed	38.9747854698086	*/s
Calibration Velocity (towards plc cam): 1% of Max motor speed	7.79495709396173	*/s
Calibration Velocity (off plc cam): 1% of Max motor speed	7.79495709396173	*/s
Acceleration: with an acceleration time of 1s	1169.24356409426	*/s <sup>2</sup>
Deceleration: with an acceleration time of 1s	1169.24356409426	*/s <sup>2</sup>
Jerk: with an acceleration time of 1s	3507.73069228278	*/s <sup>3</sup>

Max motor speed = 779.495709396173 (\*/s)

Fig. 5.1.3.3 – Feed Constant

## 5.2 Configuración de los ejes de movimiento NC

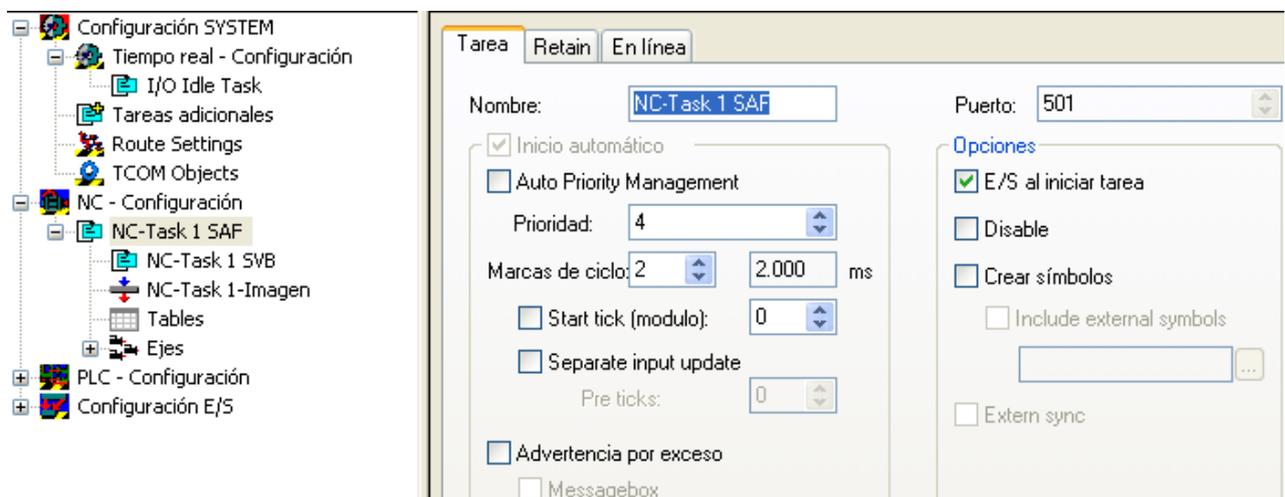
TwinCAT NC es un conjunto de grupos de funciones utilizadas para el control y regulación de los ejes o grupos de ejes sincronizados. Una tarea de NC se compone de uno o más canales del tipo: canal PTP, canal FIFO o canal del NCI, y sus partes subsidiarias. Inmediatamente después de la puesta en marcha de los ejes NC generalmente se encuentran en uno o más canales PTP. Si es necesario que se muevan entonces a un canal diferente deberá ser a través de un proceso de reconfiguración.

El PLC y el NC comunican de dos maneras:

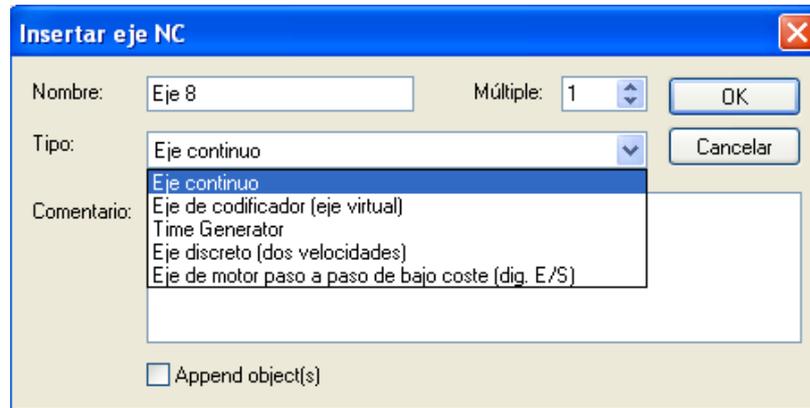
1. Interfaz cíclica del PLC hacia el NC (habilitación, enclavamientos, etc.) NC al PLC (valores reales, estados, etc.): intercambio de la información necesaria en cada ciclo de PLC a través de la imagen del proceso cíclico.
2. Se proporcionan bloques de función (en adelante NC-FBs) en el sentido de IEC1131, cada uno de los cuales contiene una serie de funciones relacionadas. El NC-FB se implementan como bloques de firmware. En otras palabras, ellos son parte del software del controlador, y su comportamiento tiene una definición fija. Los bloques tienen entradas y salidas cuyos tipos de datos son los IEC1131 tipos de datos elementales (es decir, sin tipos derivados).

La comunicación está implementada entre el PLC y ejes NC, y entre el PLC y los canales de regulación (ServoDrives). En ambos casos hay un intercambio directo de datos a nivel de las imágenes de proceso. Estos datos deben estar siempre disponibles. Las funciones se llaman por los bloques asociados que implementan el intercambio de datos a través de servicios ADS.

Al tener una configuración NC, se crea una tarea de intercambio de datos con el PLC que se establece por defecto a 2ms.



Una vez configurados los drives junto con los servos y encoders conectados, deben ser asignados a ejes de NC dentro de la tarea, que serán los encargados de establecer las conexiones con las variables de PLC y gestionar NC-FBs.



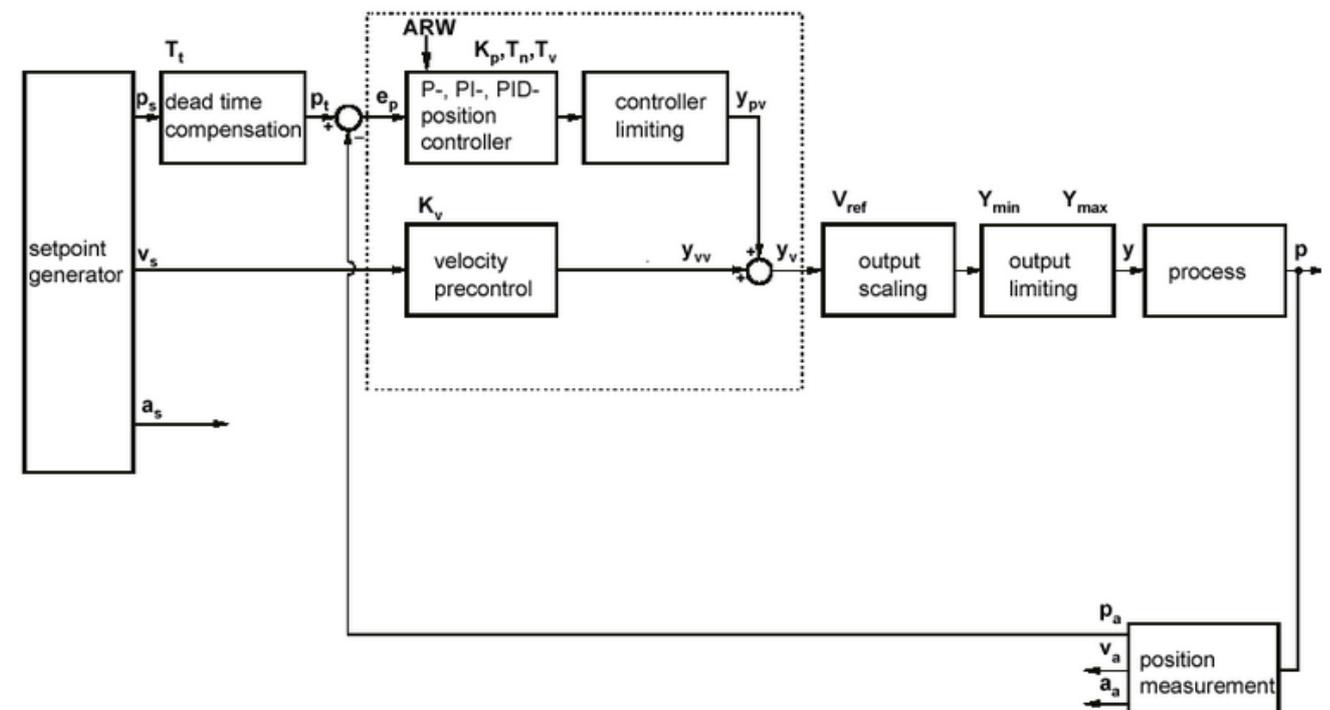
Los 7 ejes que hay que insertar son del tipo eje continuo (también denominado eje servo), que realizan un control continuo de posición y velocidad durante todo el movimiento. Cada eje se compone de varios elementos, en función del tipo de eje. Estos elementos incluyen el encoder, el drive, el controlador y el generador de valor de consigna, junto con la interfaz con el PLC:

- **Encoder:** dependiendo de sus modos de funcionamiento, determinan la posición real, la velocidad real o la aceleración real. Los valores reales fluctúan a menudo en gran medida, por lo que un filtro parametrizable está disponible para cada modo con el fin de garantizar una resolución razonable. Se admite una amplia variedad de versiones de encoders. Tanto los encoders absolutos e incrementales están disponibles. Además de esto, hay encoders de simulación y encoders especiales para la determinación de la fuerza.
- **Drive:** transfiere la tensión de salida a la sección de potencia del motor. Con el apoyo de una amplia variedad de versiones de tracción. Servoaccionamientos, drive de alta / baja velocidad, y drive para motores paso a paso están disponibles. Además de esto, hay codificadores de simulación y codificadores especiales para la determinación de la fuerza. Los parámetros de la unidad incluyen la polaridad del motor y la velocidad de referencia.
- **Controlador:** el propósito del controlador es operar sobre la base de las diferencias de velocidad de ajuste (error de seguimiento) u otras magnitudes de ajuste (aceleración) de tal manera que se mantiene el error tan pequeño como sea posible y que el eje no se someta a cualquier rebasamiento en la posición o velocidad. Se admite una amplia variedad de versiones de controlador. Controladores de posición del servo y controladores especiales para

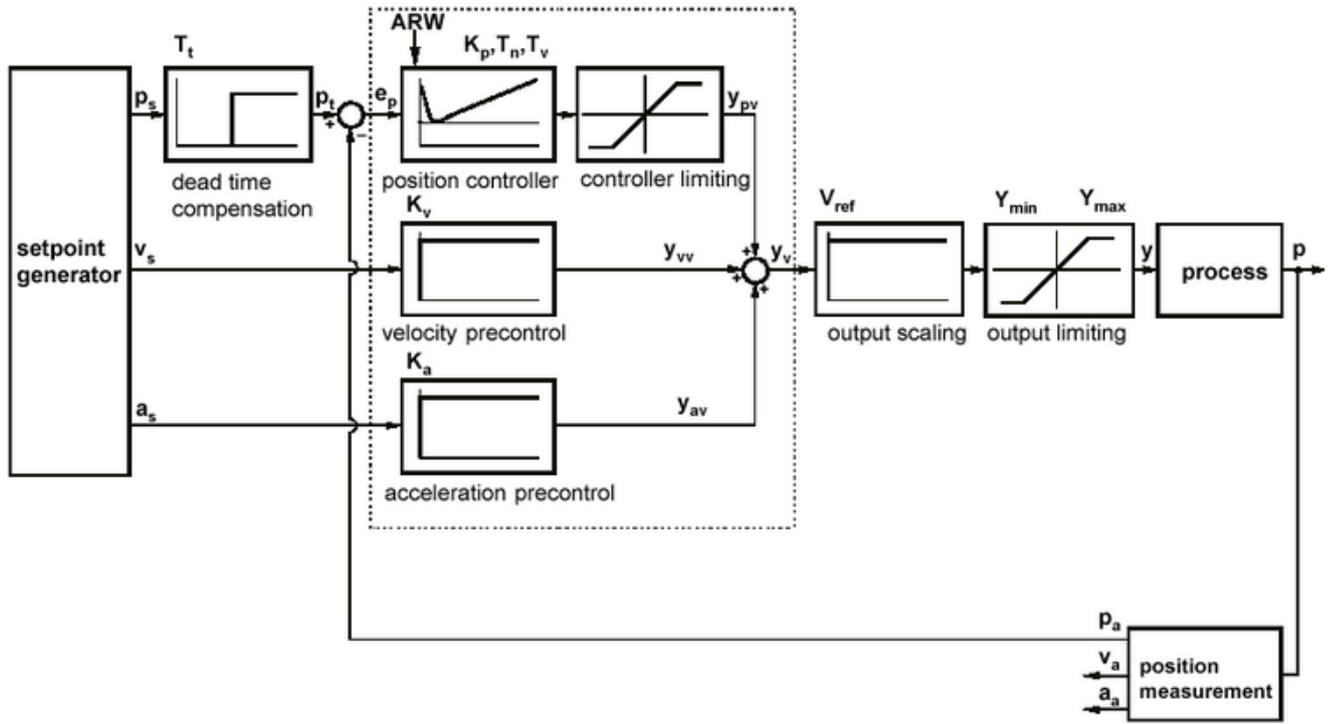
determinados tipos de eje están disponibles. Dos tipos diferentes de controlador pueden ser elegidos: controladores de posición (controladores cuya tarea consiste en controlar la posición real de tal forma que siga a la posición de ajuste con la mayor precisión posible) y los controladores de los ejes (ejes especiales de alta / baja velocidad, motor paso a paso, SERCOS). Tipos de controlador de posición:

- Controlador de posición P (proporcional): controlador proporcional de seguimiento del error.
  - Regulador de posición con dos constantes P: con diferentes constantes para el estado estacionario y para el movimiento.
  - Controlador de posición PI (Proporcional Integral).
  - Controlador de posición PID (Proporcional Integral Derivativo).
- **Lazos de control posibles en un controlador**

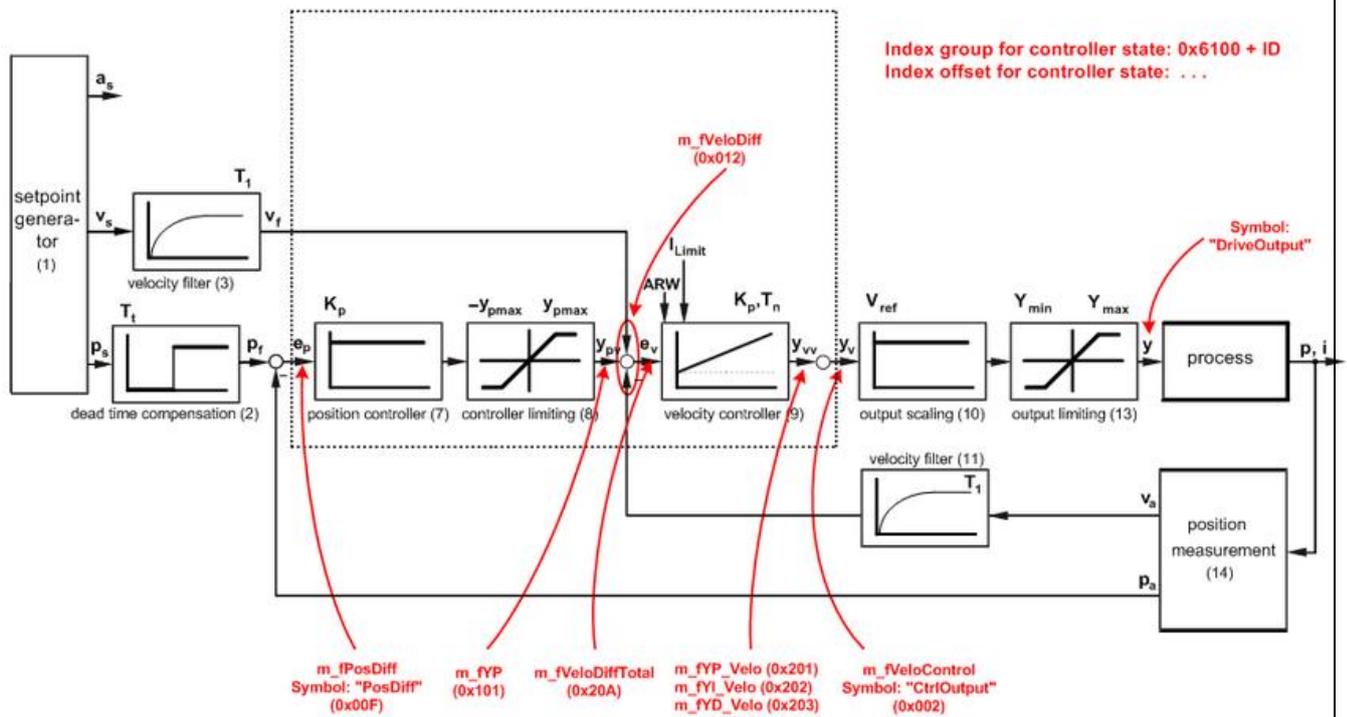
Lazo de control estándar de un eje (Servo Drive) con pre alimentación de velocidad



Lazo de control avanzado de un eje (Servo Drive) con pre alimentación de velocidad y aceleración

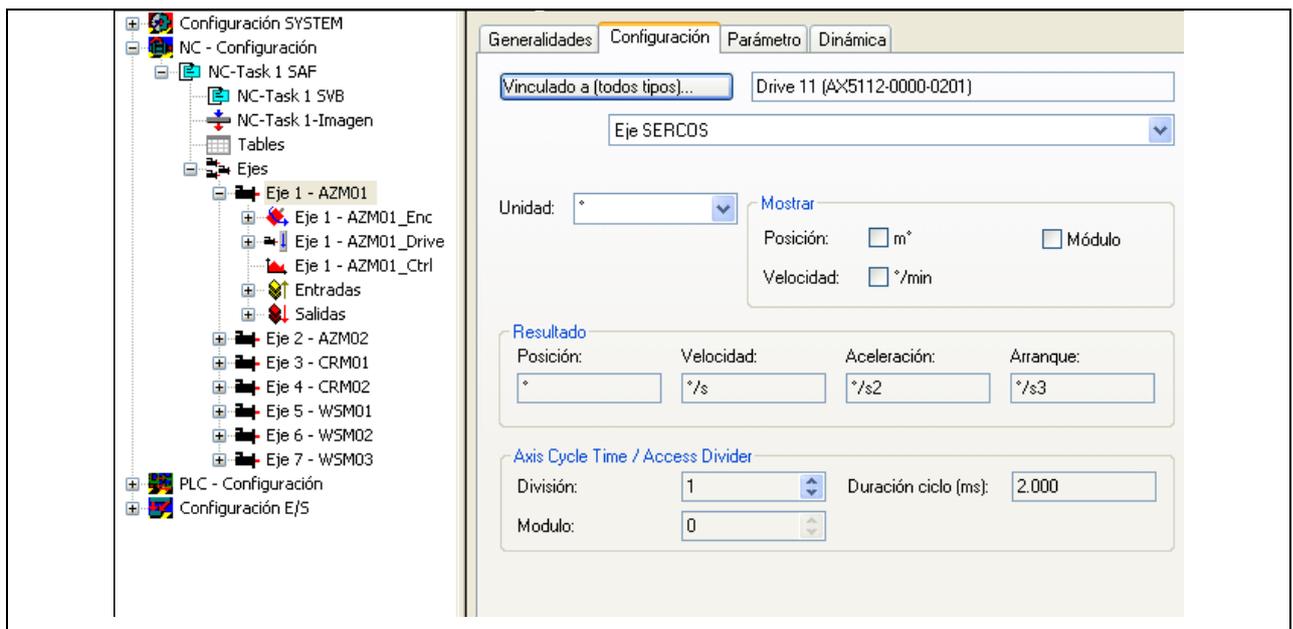


Lazo de control de posición y velocidad con interface de corriente – Servo Drive



- **Generador de valor de consigna:** cada eje se asigna a un generador del valor de consigna, y esto a su vez consta de tres componentes:
  - o Bloque generador de preparación (en la tarea de preparación de bloques): comprobar los parámetros de inicio y, en el caso de los ejes principales, el cálculo del perfil dinámico.
  - o Bloque generador de ejecución (en la tarea de ejecución de bloque): cálculo de los valores de ajuste local.
  - o Generador asíncrono de requisitos de reacción al asíncronos (override, nueva posición final, compensación de posición, etc.).

A continuación se sigue con el ejemplo de configuración del primer eje del movimiento acimutal (NC Eje 1 – Drive 11):



- Configuración SYSTEM
- NC - Configuración
  - NC-Task 1 SAF
    - NC-Task 1 SVB
    - NC-Task 1-Imagen
    - Tables
    - Ejes
      - Eje 1 - AZM01
        - Eje 1 - AZM01\_Enc
        - Eje 1 - AZM01\_Drive
        - Eje 1 - AZM01\_Ctrl
      - Entradas
      - Salidas
    - Eje 2 - AZM02
    - Eje 3 - CRM01
    - Eje 4 - CRM02
    - Eje 5 - WSM01
    - Eje 6 - WSM02
    - Eje 7 - WSM03
- PLC - Configuración
- Configuración E/S

Generalidades Configuración Parámetro **Dinámica**

Indirecto por tiempo de aceleración

Velocidad máxima (V máx.):  %/s

Tiempo de aceleración:  s

Tiempo de deceleración:  como arriba  s

suave rígido

Características de aceleración:  
Características de deceleración:

a (t):

v (t):

Directo

Aceleración:  %/s<sup>2</sup>

Deceleración:  como arriba  %/s<sup>2</sup>

Arranque:  %/s<sup>3</sup>

- Configuración SYSTEM
- NC - Configuración
  - NC-Task 1 SAF
    - NC-Task 1 SVB
    - NC-Task 1-Imagen
    - Tables
    - Ejes
      - Eje 1 - AZM01
        - Eje 1 - AZM01\_Enc
        - Eje 1 - AZM01\_Drive
        - Eje 1 - AZM01\_Ctrl
      - Entradas
      - Salidas
    - Eje 2 - AZM02
    - Eje 3 - CRM01
    - Eje 4 - CRM02
    - Eje 5 - WSM01
    - Eje 6 - WSM02
    - Eje 7 - WSM03

Generalidades **NC-Controller** Parámetro En línea

Tipo:

Controlador de posición P

Controlador de posición con dos constantes P (con Ka)

Controlador de posición PID (con Ka)

**Controlador de posición P y velocidad PID (Torque)**

Position P and velocity PI controller with Observer (Torque)

Controlador de dos velocidades

Controlador de motor paso a paso

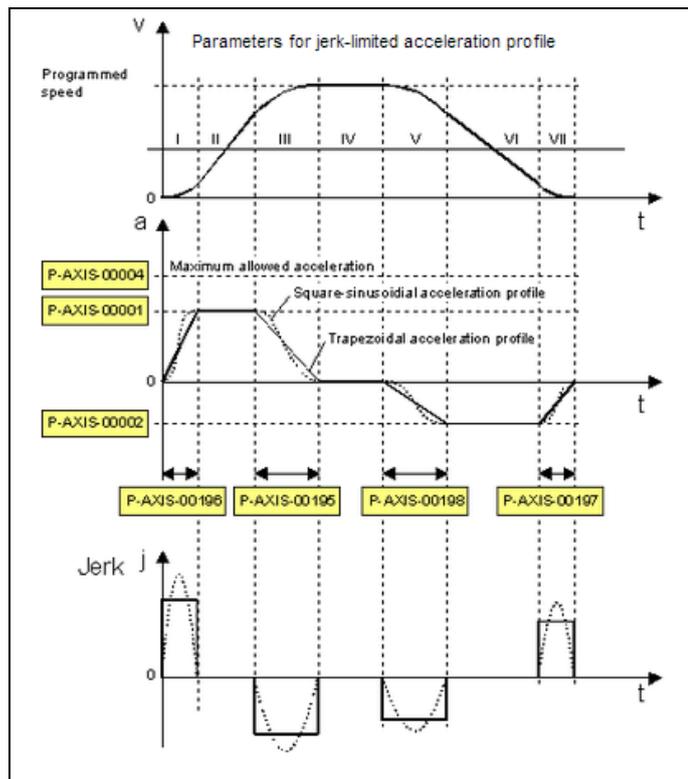
Controlador de SERCOS (posición en SERCOS)

- Configuración SYSTEM
- NC - Configuración
  - NC-Task 1 SAF
    - NC-Task 1 SVB
    - NC-Task 1-Imagen
    - Tables
    - Ejes
      - Eje 1 - AZM01
        - Eje 1 - AZM01\_Enc
        - Eje 1 - AZM01\_Drive
        - Eje 1 - AZM01\_Ctrl
      - Entradas
      - Salidas
    - Eje 2 - AZM02
    - Eje 3 - CRM01
    - Eje 4 - CRM02
    - Eje 5 - WSM01
    - Eje 6 - WSM02
    - Eje 7 - WSM03
  - PLC - Configuración
  - Configuración E/S
    - Dispositivos de E/S
    - Asignaciones

Generalidades NC-Controller Parámetro **En línea**

	Parameter	Valor	Tipo	Unidad
-	Monitoring:			
	Monitorización de intervalo de posición	FALSE	B	
	Valor máximo del intervalo de posición	5.0	F	°
	Tiempo máximo de filtro de intervalo de posición	0.02	F	s
-	Position Control Loop:			
	Control de posición: factor proporcional Kv (factor Kv)	1.0	F	°/s/°
	Control de velocidad Aceleración: factor proporcional Kv	0.0	F	s
	Peso de control previo [0.0 ... 1.0]	1.0	F	
-	Velocity Control Loop:			
	Control de velocidad: factor proporcional Kv	0.1	F	
	Control de velocidad: tiempo de acción integral Tn	0.0	F	s
	Control de velocidad: tiempo de acción derivada Tv	0.0	F	s
	Control de velocidad: tiempo de volcado Td	0.0	F	s
	Control de velocidad: Límite parte-D [0.0 ... 1.0]	0.1	F	
	Control de velocidad: Límite parte-I [0.0 ... 1.0]	0.1	F	
+	Other Settings:			

En la pestaña “Dinámica” se configura las rampas de aceleración, deceleración y el “jerk”, que define como se comporta la aceleración en el tiempo. Debido a las inercias tan grandes provocadas al mover grandes masas, y siendo que no se requieren paradas bruscas, los tiempos de aceleración se han subido mucho con respecto a los de fábrica. Al igual que se ha suavizado el perfil del jerk haciendo una gráfica de aceleración sinusoidal en 7 tramos.

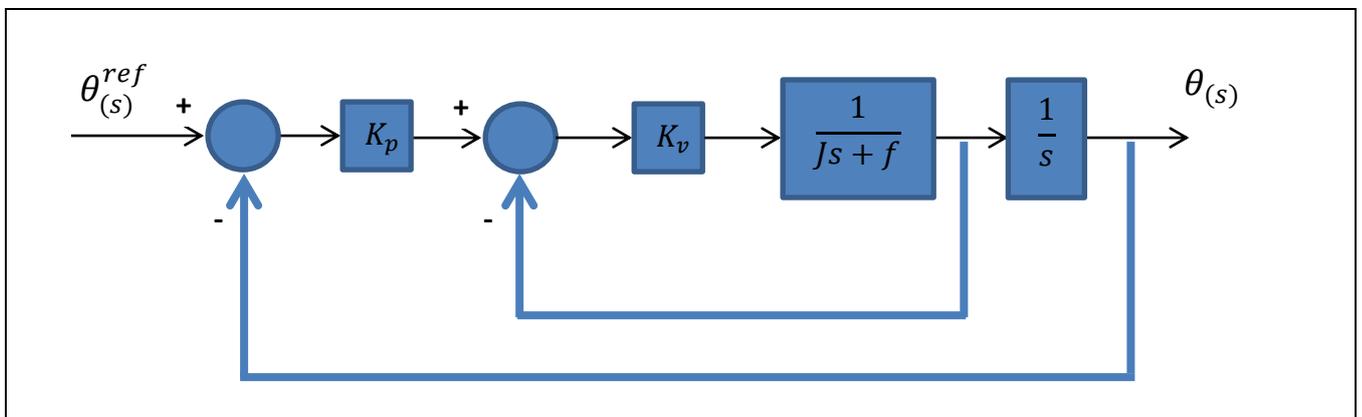


Parámetros del perfil de aceleración

El control de posición del movimiento acimutal se ha llevado a cabo con un doble lazo proporcional: posición P (constante proporcional  $K_p$ ) y velocidad PID (aunque sólo empleamos la constante proporcional  $K_v$ ).

EL objetivo es conseguir una sobre oscilación nula, con un tiempo de respuesta reducido y un error en régimen permanente nulo:

- S.O. = 0
- $T_r$  = Tiempo de respuesta
- $E_p = 0 \rightarrow$  Se consigue al cerrar el lazo



Lazo de control de posición del giro acimutal

$$\text{Bucle Interno} = B.I.(s) = \frac{K_v}{Js + f + K_v}$$

$$F(s) = \frac{\Theta(s)}{\Theta^{ref}(s)} = \frac{K_p \cdot B.I.(s) \cdot 1/s}{1 + (K_p \cdot B.I.(s) \cdot 1/s)} = \frac{\frac{K_p \cdot K_v}{Js^2 + (f + K_v)s}}{1 + \frac{K_p \cdot K_v}{Js^2 + (f + K_v)s}} = \frac{K_p \cdot K_v}{Js^2 + (f + K_v)s + K_p \cdot K_v}$$

Función de transferencia real

$$F(s) = \frac{\frac{K_p \cdot K_v}{J}}{s^2 + \frac{f + K_v}{J}s + \frac{K_p \cdot K_v}{J}}$$

Sistema de segundo orden

$$F(s) = \frac{K \omega_n}{s^2 + 2\zeta \omega_n s + \omega_n^2}$$



$\zeta$  = Coeficiente de amortiguamiento

$\omega_n$  = frecuencia natural

$\tau = \zeta \omega_n$  = constante de amortiguamiento

$\omega_d = \omega_n \sqrt{1 - \zeta^2}$  = frecuencia amortiguada

Coeficiente de amortiguamiento  $\rightarrow \zeta$

$$\omega_n = \sqrt{\frac{K_p \cdot K_v}{J}} \quad 2\zeta\omega_n = \frac{f + K_v}{J} \Rightarrow 2\zeta \sqrt{\frac{K_p K_v}{J}} = \frac{f + K_v}{J} \Rightarrow \zeta = \frac{1}{2} \frac{\sqrt{J}}{J} \frac{f + K_v}{\sqrt{K_p K_v}} = \frac{1}{2} \frac{f + K_v}{\sqrt{JK_p K_v}}$$

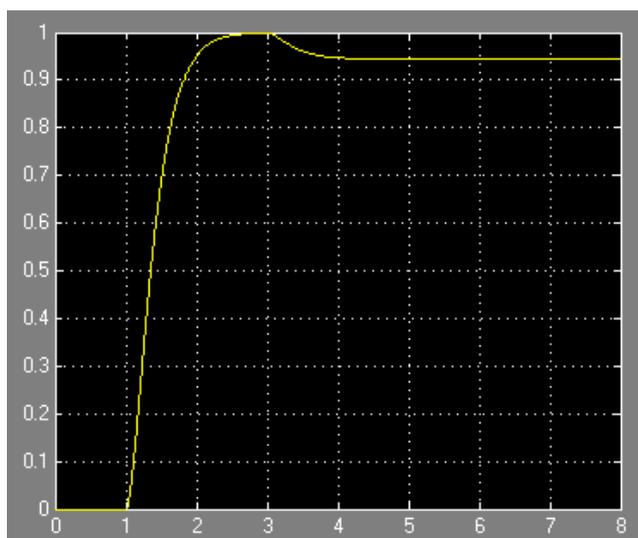
Objetivos

$$\zeta = 1 \quad \omega_n = \frac{4,75}{t_r^d} = \sqrt{\frac{K_p \cdot K_v}{J}} \Rightarrow \frac{K_p \cdot K_v}{J} = \frac{4,75^2}{(t_r^d)^2}$$

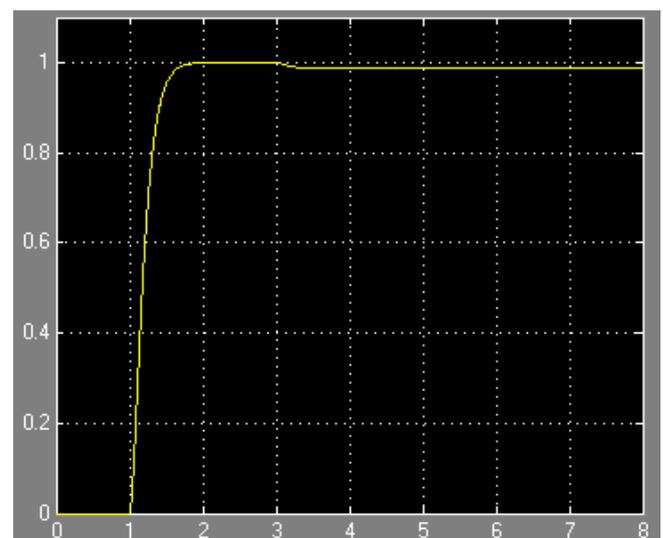
Función de transferencia resultante

$$F(s) = \frac{\frac{4,75^2}{(t_r^d)^2}}{s^2 + \frac{9,5}{t_r^d} s + \frac{4,75^2}{(t_r^d)^2}}$$

Para el cálculo de las constantes hay que mirar las prestaciones: seleccionando un tiempo de respuesta alto se observa cómo el sistema responde bien en primera instancia (ante una referencia en escalón de 0 a 1 radianes en  $t=1$ ), pero cuando aparece la perturbación (en  $t=3$  seg.), su influencia persiste en forma de un error que permanece. Sin embargo, si se sobredimensiona el regulador, bajando el tiempo de respuesta, se obtienen unas constantes elevadas que hacen disminuir la influencia de la perturbación:



Tiempo de respuesta alto  $\rightarrow K \downarrow$



Tiempo de respuesta bajo  $\rightarrow K \uparrow$

## Cálculo de las constantes proporcionales

Tiempo de respuesta deseado = 0,5 segundos

$$J = m \frac{r^2}{n} = 10.000kg \frac{\left(\frac{0.18}{2}\right)^2}{50} = 81 Kg \cdot m^2$$

$$2\zeta\omega_n = \frac{f + K_v}{J} \Rightarrow K_v = 2\zeta\omega_n J - f \xrightarrow{f=0} 2 \cdot \frac{4,75}{0,5} 81 = 1.539$$

$$K_p \cdot K_v = J \frac{4,75^2}{(t_r^d)^2} = 81 \frac{4,75^2}{(t_r^d)^2} = 7.310,25 \Rightarrow K_p = 4,75$$

Tiempo de respuesta deseado = 1 segundo

$$2\zeta\omega_n = \frac{f + K_v}{J} \Rightarrow K_v = 2\zeta\omega_n J - f \xrightarrow{f=0} 2 \cdot 4,75 \cdot 81 = 769,5$$

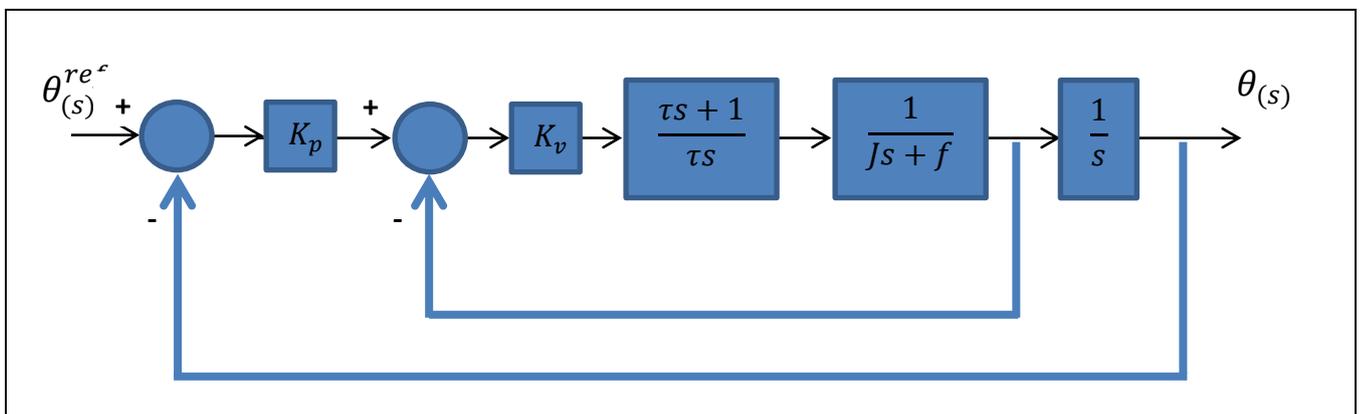
$$K_p \cdot K_v = J \frac{4,75^2}{(t_r^d)^2} = 81 \frac{4,75^2}{(t_r^d)^2} = 1827,5625 \Rightarrow K_p = 2,375$$

El modelo de controlador de doble lazo "P + P" no es el más adecuado en aquellas situaciones en las que hay perturbaciones, pues es incapaz de compensarlas adecuadamente. En el caso del giro acimutal la carga permanece constante en todo el movimiento y el control es adecuado subiendo las constantes proporcionales.

En el caso de la compuerta, donde la geometría hace que la carga varíe fuertemente en función de la posición angular, se considera un PI en el bucle interno.

A la lista de especificaciones, ahora se añade el rechazo de perturbaciones:

- S.O. = 0%
- Tiempo de repuesta (tr) = 1 segundo
- Error de seguimiento nulo en régimen permanente (ep=0)
- Perturbaciones: rechazadas (efecto nulo) en régimen permanente



Lazo de control de posición de la compuerta

Para el cálculo de la inercia se contempla el peso total de las 2 compuertas, consideramos 3.500Kg. Con el índice de reducción de 1:400 y el diámetro del tambor de la sirga de 245mm, queda:

$$J = m \frac{r^2}{n^2} = 3.500kg \frac{\left(\frac{0.245}{2}\right)^2}{400^2} = 0,0003282617 Kg \cdot m^2$$

Se diseña el PI del bucle interno (BI) de forma que dicho BI quede como un primer orden de ganancia 1 y muy rápido (tiempo de respuesta de 5 a 10 veces menor que el tiempo de respuesta que se persigue para la globalidad del sistema. Aquí, se utilizará una constante de tiempo  $\tau$  de 1 segundo a la vista de la correspondiente tau del sistema ( $\tau = J/f = 1$  segundo). Esta constante se ha conseguido experimentalmente aplicando un pequeño escalón (desde un valor A a un valor B) al sistema en bucle abierto (esto es, sin controladores) y midiendo la evolución de la velocidad, siendo  $\tau$  la 3ª parte del tiempo de respuesta.

Por otro lado, se buscará una K del PI que haga que el BI(s) sea muy rápido (por ejemplo, 0.2 segundos):

$$R_i(s) = K_v \frac{1 + \tau s}{\tau s} = K_v \frac{1 + s}{s}$$

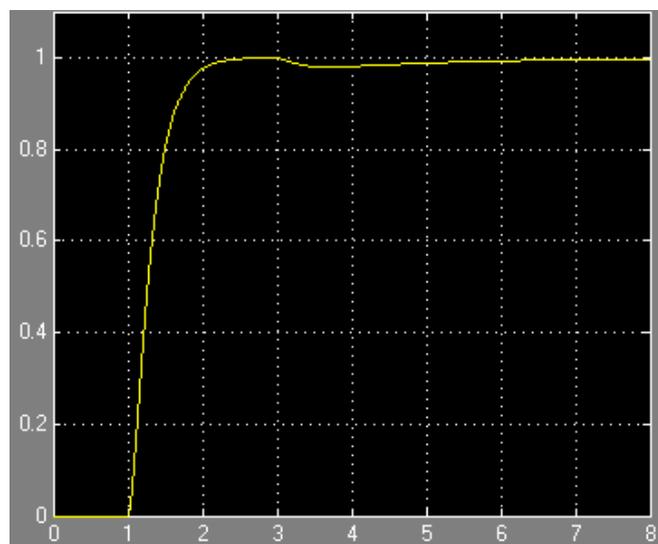
$$\text{Bucle Interno} \rightarrow B.I.(s) = \frac{1}{1 + \frac{1}{K_v} s} = \frac{1}{1 + \frac{0,2}{3} s} \Rightarrow K_v = 15$$

En el diseño del regulador externo se prescindir del BI, siendo este el objetivo de que se haya calculado tan rápido:

$$CD(s) = K_p BI(s) \frac{1}{s} = K_p \frac{1}{1 + 0,06s} \frac{1}{s} \cong K_p \frac{1}{s}$$

$$F(s) = \frac{1}{1 + \frac{s}{K_p}} = \frac{1}{1 + \frac{s}{3}} \Rightarrow K_p = 3$$

En cuanto a las prestaciones, se observa cómo ahora el rechazo de las perturbaciones es total en régimen permanente:





### 6 Descripción de la interfaz de explotación (HMI)

El sistema de visualización y explotación será ejecutado desde un sistema Scada externo. A través del puerto EtherCat integrado en la CPU se servirá la información y se recibirán las consignas y comandos.

Por especificaciones del cliente, no se puede hacer uso de pantallas HMI que puedan emitir luz perjudicial para la observación del telescopio. Para disponer de una herramienta de explotación para la puesta en servicio se hace uso de las propias pantallas que la aplicación de desarrollo del PLC incluye, TWINCAT PLC HMI CE.

Además de esta herramienta de visualización, la CPU dispone de una visualización como Web Server: TWINCAT PLC HMI WEB. Es un sistema de visualización basado en la web. El control PLC TwinCAT actúa como editor para la creación de páginas web. La activación se lleva a cabo simplemente mediante el establecimiento de una opción en el TwinCAT PLC Control. Las páginas web se alojan en el Internet Information Server (IIS). Para la visualización de las páginas web se necesita una máquina virtual Java.

Como opción para graficar, y exclusivamente para la puesta en marcha, se implementa una aplicación Scada basada en Wonderware InTouch. La comunicación se realiza a través del TwinCAT OPC Server de Beckhoff. Resulta de gran utilidad el poder analizar el comportamiento de las variables de posición, consumo, par, velocidad, etc. de los 3 movimientos de la cúpula con el fin de optimizar el control.

## 6.1 PLC1: visualización

### 6.1.1 Generales

GENERALES																		
<table border="1"><thead><tr><th>COMANDOS</th></tr></thead><tbody><tr><td><input type="button" value="RESET"/></td></tr><tr><td><input type="button" value="MODO LOCAL/REMOTO"/></td></tr><tr><td><input type="button" value="MARCHA VENT. ARMARIO PLC2"/></td></tr><tr><td><input type="button" value="MARCHA VENT. ARMARIO PLC1"/></td></tr><tr><td><input type="button" value="MARCHA RES. CALEFACTORA"/></td></tr></tbody></table>	COMANDOS	<input type="button" value="RESET"/>	<input type="button" value="MODO LOCAL/REMOTO"/>	<input type="button" value="MARCHA VENT. ARMARIO PLC2"/>	<input type="button" value="MARCHA VENT. ARMARIO PLC1"/>	<input type="button" value="MARCHA RES. CALEFACTORA"/>	<table border="1"><thead><tr><th>ESTADOS</th></tr></thead><tbody><tr><td><input checked="" type="checkbox"/> <b>EMG</b></td></tr><tr><td><input type="checkbox"/> Local: PLC fijo tiene el control</td></tr><tr><td><input type="checkbox"/> Remoto: PLC cúpula tiene el control</td></tr><tr><td><input type="checkbox"/> Habilitado Ventilador Armario PLC2</td></tr><tr><td><input type="checkbox"/> Habilitado Ventilador Armario PLC1</td></tr><tr><td><input type="checkbox"/> Habilitada Resistencia Calefactora Cúpula</td></tr></tbody></table>	ESTADOS	<input checked="" type="checkbox"/> <b>EMG</b>	<input type="checkbox"/> Local: PLC fijo tiene el control	<input type="checkbox"/> Remoto: PLC cúpula tiene el control	<input type="checkbox"/> Habilitado Ventilador Armario PLC2	<input type="checkbox"/> Habilitado Ventilador Armario PLC1	<input type="checkbox"/> Habilitada Resistencia Calefactora Cúpula				
COMANDOS																		
<input type="button" value="RESET"/>																		
<input type="button" value="MODO LOCAL/REMOTO"/>																		
<input type="button" value="MARCHA VENT. ARMARIO PLC2"/>																		
<input type="button" value="MARCHA VENT. ARMARIO PLC1"/>																		
<input type="button" value="MARCHA RES. CALEFACTORA"/>																		
ESTADOS																		
<input checked="" type="checkbox"/> <b>EMG</b>																		
<input type="checkbox"/> Local: PLC fijo tiene el control																		
<input type="checkbox"/> Remoto: PLC cúpula tiene el control																		
<input type="checkbox"/> Habilitado Ventilador Armario PLC2																		
<input type="checkbox"/> Habilitado Ventilador Armario PLC1																		
<input type="checkbox"/> Habilitada Resistencia Calefactora Cúpula																		
<table border="1"><thead><tr><th>DEFECTOS</th></tr></thead><tbody><tr><td><input type="checkbox"/> Térmico alimentación Cúpula</td></tr><tr><td><input type="checkbox"/> Térmico alimentación 220VAC</td></tr><tr><td><input type="checkbox"/> Termostato ventilador armario PLC1</td></tr><tr><td><input type="checkbox"/> Termostato ventilador armario PLC2</td></tr><tr><td><input type="checkbox"/> Térmico resistencia calefactoras</td></tr><tr><td><input type="checkbox"/> Termostato Compuerta fija/Azimet</td></tr><tr><td><input type="checkbox"/> Termostato Compuerta superior</td></tr><tr><td><input type="checkbox"/> Termostato Compuerta inferior</td></tr></tbody></table>	DEFECTOS	<input type="checkbox"/> Térmico alimentación Cúpula	<input type="checkbox"/> Térmico alimentación 220VAC	<input type="checkbox"/> Termostato ventilador armario PLC1	<input type="checkbox"/> Termostato ventilador armario PLC2	<input type="checkbox"/> Térmico resistencia calefactoras	<input type="checkbox"/> Termostato Compuerta fija/Azimet	<input type="checkbox"/> Termostato Compuerta superior	<input type="checkbox"/> Termostato Compuerta inferior	<table border="1"><thead><tr><th>EMERGENCIAS</th></tr></thead><tbody><tr><td><input checked="" type="checkbox"/> Emergencia general</td></tr><tr><td><input checked="" type="checkbox"/> Planta telescopio (junto a escalera de acceso)</td></tr><tr><td><input checked="" type="checkbox"/> Planta telescopio (junto a montacargas)</td></tr><tr><td><input checked="" type="checkbox"/> Armario fijo - PLC1</td></tr><tr><td><input checked="" type="checkbox"/> Sala técnica</td></tr><tr><td><input checked="" type="checkbox"/> Telescopio AMOS</td></tr><tr><td><input checked="" type="checkbox"/> Armario móvil a bordo de la cúpula - PLC2</td></tr></tbody></table>	EMERGENCIAS	<input checked="" type="checkbox"/> Emergencia general	<input checked="" type="checkbox"/> Planta telescopio (junto a escalera de acceso)	<input checked="" type="checkbox"/> Planta telescopio (junto a montacargas)	<input checked="" type="checkbox"/> Armario fijo - PLC1	<input checked="" type="checkbox"/> Sala técnica	<input checked="" type="checkbox"/> Telescopio AMOS	<input checked="" type="checkbox"/> Armario móvil a bordo de la cúpula - PLC2
DEFECTOS																		
<input type="checkbox"/> Térmico alimentación Cúpula																		
<input type="checkbox"/> Térmico alimentación 220VAC																		
<input type="checkbox"/> Termostato ventilador armario PLC1																		
<input type="checkbox"/> Termostato ventilador armario PLC2																		
<input type="checkbox"/> Térmico resistencia calefactoras																		
<input type="checkbox"/> Termostato Compuerta fija/Azimet																		
<input type="checkbox"/> Termostato Compuerta superior																		
<input type="checkbox"/> Termostato Compuerta inferior																		
EMERGENCIAS																		
<input checked="" type="checkbox"/> Emergencia general																		
<input checked="" type="checkbox"/> Planta telescopio (junto a escalera de acceso)																		
<input checked="" type="checkbox"/> Planta telescopio (junto a montacargas)																		
<input checked="" type="checkbox"/> Armario fijo - PLC1																		
<input checked="" type="checkbox"/> Sala técnica																		
<input checked="" type="checkbox"/> Telescopio AMOS																		
<input checked="" type="checkbox"/> Armario móvil a bordo de la cúpula - PLC2																		

#### Comandos

- Reset: rearme de averías de los elementos y emergencias tanto del PLC1 como del PLC2.
- Modo de operación:
  - o Local: las consignas de los movimientos se mandan desde el PLC1 o el telescopio.
  - o Remoto: las consignas se introducen directamente por el usuario en el PLC2.
- Marcha ventiladores de refrigeración de los paneles eléctricos.
- Marcha al sistema de calefacción de la cúpula.

Muestra los defectos, estados y emergencias generales de la instalación.

## 6.1.2 Control de las ventanas fijas

MOTORES VENTANAS: COMPUERTAS Y PERSIANAS					
<b>MODOS</b> <input type="checkbox"/> Manual <input type="checkbox"/> Automático <input type="checkbox"/> Defecto <input type="checkbox"/> Emergencia	<b>VCM01</b> <input type="checkbox"/> Manual <input type="checkbox"/> Automático <input type="checkbox"/> Abierto /ndo <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Cerrado /ndo <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Defecto Térmico %.f%% Apertura Abrir Cerrar	<b>VCM02</b> <input type="checkbox"/> Manual <input type="checkbox"/> Automático <input type="checkbox"/> Abierto /ndo <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Cerrado /ndo <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Defecto Térmico %.f%% Apertura Abrir Cerrar	<b>VCM03</b> <input type="checkbox"/> Manual <input type="checkbox"/> Automático <input type="checkbox"/> Abierto /ndo <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Cerrado /ndo <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Defecto Térmico %.f%% Apertura Abrir Cerrar	<b>VCM04</b> <input type="checkbox"/> Manual <input type="checkbox"/> Automático <input type="checkbox"/> Abierto /ndo <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Cerrado /ndo <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Defecto Térmico %.f%% Apertura Abrir Cerrar	<b>VCM05</b> <input type="checkbox"/> Manual <input type="checkbox"/> Automático <input type="checkbox"/> Abierto /ndo <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Cerrado /ndo <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Defecto Térmico %.f%% Apertura Abrir Cerrar
<b>DEFECTOS</b> <input type="checkbox"/> Termostato ventilador armario <input type="checkbox"/> Térmico alimentación Cúpula <input type="checkbox"/> Térmico alimentación 220VAC	<b>VCM06</b> <input type="checkbox"/> Manual <input type="checkbox"/> Automático <input type="checkbox"/> Abierto /ndo <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Cerrado /ndo <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Defecto Térmico %.f%% Apertura Abrir Cerrar	<b>VCM07</b> <input type="checkbox"/> Manual <input type="checkbox"/> Automático <input type="checkbox"/> Abierto /ndo <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Cerrado /ndo <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Defecto Térmico %.f%% Apertura Abrir Cerrar	<b>VCM08</b> <input type="checkbox"/> Manual <input type="checkbox"/> Automático <input type="checkbox"/> Abierto /ndo <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Cerrado /ndo <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Defecto Térmico %.f%% Apertura Abrir Cerrar	<b>VCM09</b> <input type="checkbox"/> Manual <input type="checkbox"/> Automático <input type="checkbox"/> Abierto /ndo <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Cerrado /ndo <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Defecto Térmico %.f%% Apertura Abrir Cerrar	<b>VCM10</b> <input type="checkbox"/> Manual <input type="checkbox"/> Automático <input type="checkbox"/> Abierto /ndo <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Cerrado /ndo <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Defecto Térmico %.f%% Apertura Abrir Cerrar
<b>ESTADOS</b> <input type="checkbox"/> Habilitado ventilador armario	<b>VPM01</b> <input type="checkbox"/> Manual <input type="checkbox"/> Automático <input type="checkbox"/> Abierto /ndo <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Cerrado /ndo <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Defecto Térmico %.f%% Apertura Abrir Cerrar	<b>VPM02</b> <input type="checkbox"/> Manual <input type="checkbox"/> Automático <input type="checkbox"/> Abierto /ndo <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Cerrado /ndo <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Defecto Térmico %.f%% Apertura Abrir Cerrar	<b>VPM03</b> <input type="checkbox"/> Manual <input type="checkbox"/> Automático <input type="checkbox"/> Abierto /ndo <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Cerrado /ndo <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Defecto Térmico %.f%% Apertura Abrir Cerrar	<b>VPM04</b> <input type="checkbox"/> Manual <input type="checkbox"/> Automático <input type="checkbox"/> Abierto /ndo <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Cerrado /ndo <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Defecto Térmico %.f%% Apertura Abrir Cerrar	<b>VPM05</b> <input type="checkbox"/> Manual <input type="checkbox"/> Automático <input type="checkbox"/> Abierto /ndo <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Cerrado /ndo <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Defecto Térmico %.f%% Apertura Abrir Cerrar
<b>CONSIGNAS</b> SP Ventana Compuertas %.f%% Apertura SP Ventana Persianas %.f%% Apertura	<b>VPM06</b> <input type="checkbox"/> Manual <input type="checkbox"/> Automático <input type="checkbox"/> Abierto /ndo <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Cerrado /ndo <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Defecto Térmico %.f%% Apertura Abrir Cerrar	<b>VPM07</b> <input type="checkbox"/> Manual <input type="checkbox"/> Automático <input type="checkbox"/> Abierto /ndo <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Cerrado /ndo <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Defecto Térmico %.f%% Apertura Abrir Cerrar	<b>VPM08</b> <input type="checkbox"/> Manual <input type="checkbox"/> Automático <input type="checkbox"/> Abierto /ndo <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Cerrado /ndo <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Defecto Térmico %.f%% Apertura Abrir Cerrar	<b>VPM09</b> <input type="checkbox"/> Manual <input type="checkbox"/> Automático <input type="checkbox"/> Abierto /ndo <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Cerrado /ndo <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Defecto Térmico %.f%% Apertura Abrir Cerrar	<b>VPM10</b> <input type="checkbox"/> Manual <input type="checkbox"/> Automático <input type="checkbox"/> Abierto /ndo <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Cerrado /ndo <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Defecto Térmico %.f%% Apertura Abrir Cerrar
<b>COMANDOS</b> %i Manual / Automático Marcha Vent. Armario Reset Manual / Automático P6					

Desde esta pantalla se tiene el control y visualización de estados de las persianas y compuertas de las 10 ventanas fijas. Se distingue entre dos modos de funcionamiento:

- Manual: se puede abrir o cerrar cada motor por individual manteniendo pulsado su correspondiente botón.
- Automático: se introduce una consigna de apertura común para el conjunto de las 10 persianas o de las 10 compuertas.

## 6.1.3 Control del movimiento acimutal de la cúpula

MOVIMIENTO AZIMUTAL		
LOCAL/REMOTO <input type="checkbox"/> Local <input type="checkbox"/> Remoto	Reset	<b>ESTADOS</b> <input type="checkbox"/> Drives habilitados <input type="checkbox"/> En posición de Home <input type="checkbox"/> Compuerta en movimiento <input type="checkbox"/> Posición destino alcanzada <input type="checkbox"/> Drives Ok <input type="checkbox"/> Compuerta completamente abierta <input type="checkbox"/> Compuerta completamente cerrada
	<b>EMG</b>	
<b>COMANDOS</b>		<b>DEFECTOS</b> <input type="checkbox"/> Drive en fallo <input type="checkbox"/> Defecto térmico motores <input type="checkbox"/> Defecto habilitación <input type="checkbox"/> Defecto control de velocidad
Cmd.0-Ejecutar Setpoint/Velocidad		
Cmd.1-Ejecutar Home Posición = 0		<b>CONSIGNAS PLC1-&gt;PLC2</b>
Cmd.2-Ejecutar Jog+		
Cmd.3-Ejecutar Jog-		
<b>CONSIGNAS PLC1-&gt;PLC2</b>		<b>Variables reales PLC2-&gt;PLC1</b>
SETPOINT Posición (c°): %u		Posición actual (c°): %i
Velocidad (c°/seg): %i		Consumo actual: %i

Siempre que la instalación está en modo local, se podrá comandar el giro acimutal desde esta pantalla atendiendo a los siguientes comandos y consignas:

- Consigna de posición de destino en c° de la cúpula (desde 0 hasta 36.000 c°).
- Consigna de velocidad en c°/segundo (desde 0 hasta 150 c°/segundo).
- Comando 0. Ejecutar consignas de posición y velocidad introducidas. Al pulsar el botón se activa el comando. Si se vuelve a pulsar en medio del movimiento, se desactiva el comando y se cancela el movimiento. Al llegar al destino, se desactiva automáticamente.
- Comando 1. Ejecutar comando de "Homing = Cota 0" a la velocidad introducida.
- Comando 2. Jog+: mientras se pulsa se activa el comando que moverá la cúpula en sentido horario a la velocidad introducida.
- Comando 3. Jog-: mientras se pulsa se activa el comando que moverá la cúpula en sentido anti horario a la velocidad introducida.

## 6.1.4 Control del movimiento de la compuerta rendija

MOTORES COMPUERTA	
<b>COMANDOS</b>	<b>ESTADOS</b>
Habilitación Movimiento Servos - Posicionar SETPOINT	<input type="checkbox"/> Drives habilitados
Habilitación Movimiento Servos - Posicionar HOME	<input type="checkbox"/> En posición de Home
Habilitación Movimiento Servos - JOG ABRIR Compuerta	<input type="checkbox"/> Compuerta en movimiento
Habilitación Movimiento Servos - JOG CERRAR Compuerta	<input type="checkbox"/> Posición destino alcanzada
	<input type="checkbox"/> Drives Ok
	<input type="checkbox"/> Compuerta completamente abierta
	<input type="checkbox"/> Compuerta completamente cerrada
	<b>DEFECTOS</b>
	<input type="checkbox"/> Drive en fallo
	<input type="checkbox"/> Defecto térmico motores
	<input type="checkbox"/> Defecto habilitación
	<input type="checkbox"/> Defecto control de velocidad
<b>CONSIGNAS</b>	<b>VALORES INFORMATIVOS</b>
SETPOINT Posición: %i	Posición actual: %i
Velocidad JOG ABRIR/CERRAR: %i	Consumo actual: %i

Siempre que la instalación está en modo local, se podrá comandar la compuerta desde esta pantalla atendiendo a los siguientes comandos y consignas:

- Consigna de posición de destino en  $c^{\circ}$  de vueltas de tambor.
- Consigna de velocidad en  $c^{\circ}/segundo$  (desde 0 hasta 300  $c^{\circ}/segundo$ ).
- Comando 0. Ejecutar consignas de posición y velocidad introducidas. Al pulsar el botón se activa el comando. Si se vuelve a pulsar en medio del movimiento, se desactiva el comando y se cancela el movimiento. Al llegar al destino, se desactiva automáticamente.
- Comando 1. Ejecutar comando de "Homing = Cota 0 - Cerrada" a la velocidad introducida.
- Comando 2. Jog Abrir: mientras se pulsa se activa el comando que abrirá la compuerta a la velocidad introducida.
- Comando 3. Jog Cerrar: mientras se pulsa se activa el comando que cerrará la compuerta a la velocidad introducida.

## 6.1.5 Control del movimiento del Wind Shield

MOVIMIENTO WINDSHIELD	
<p>LOCAL/REMOTO <input type="checkbox"/> Local <input type="checkbox"/> Remoto</p> <p>RESET <span style="background-color: red; color: yellow; padding: 2px;">EMG</span></p>	<p><b>ESTADOS</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> Drives habilitados</li> <li><input type="checkbox"/> En posición de Home</li> <li><input type="checkbox"/> Compuerta en movimiento</li> <li><input type="checkbox"/> Posición destino alcanzada</li> <li><input type="checkbox"/> Drives Ok</li> <li><input type="checkbox"/> Windshield completamente abajo</li> <li><input type="checkbox"/> Windshield completamente arriba</li> </ul>
<p><b>COMANDOS</b></p> <p>Cmd.0-Ejecutar Setpoint/Velocidad</p> <p>Cmd.1-Ejecutar Home Posición = 0</p> <p>Cmd.2-Ejecutar Jog+</p> <p>Cmd.3-Ejecturar Jog-</p>	<p><b>DEFECTOS</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> Drive en fallo</li> <li><input type="checkbox"/> Defecto térmico motores</li> <li><input type="checkbox"/> Defecto habilitación</li> <li><input type="checkbox"/> Defecto control de velocidad</li> </ul>
<p><b>CONSIGNAS PLC1-&gt;PLC2</b></p> <p>SETPOINT Posición: %u %% Subido (0 - 100)</p> <p>Velocidad: %i cº/seg (0 - 3000)</p>	<p><b>Variables reales PLC2-&gt;PLC1</b></p> <p>Posición actual: %i %% Subido</p> <p>Consumo actual: %i [A]</p>

Siempre que la instalación está en modo local, se podrá comandar el Wind Shield desde esta pantalla atendiendo a los siguientes comandos y consignas:

- Consigna de posición de destino en cº de vueltas de tambor.
- Consigna de velocidad en cº/segundo (desde 0 hasta 300 cº/segundo).
- Comando 0. Ejecutar consignas de posición y velocidad introducidas. Al pulsar el botón se activa el comando. Si se vuelve a pulsar en medio del movimiento, se desactiva el comando y se cancela el movimiento. Al llegar al destino, se desactiva automáticamente.
- Comando 1. Ejecutar comando de "Homing = Cota 0 - Cerrado" a la velocidad introducida.
- Comando 2. Jog Abrir: mientras se pulsa se activa el comando que abrirá el Wind Shield a la velocidad introducida.
- Comando 3. Jog Cerrar: mientras se pulsa se activa el comando que cerrará el Wind Shield a la velocidad introducida.



## 6.2 PLC2 a bordo de la cúpula: visualización

### 6.2.1 Generales

GENERALES				
<b>MODOS</b> <input type="checkbox"/> Manual <input type="checkbox"/> Automático <input type="checkbox"/> Defecto <input type="checkbox"/> Emergencia		<b>DEFECTOS</b> <input type="checkbox"/> Termostato ventilador armario <input type="checkbox"/> Térmico Resistencias Calefactoras <input type="checkbox"/> Termostato Compuerta fija y Azimut <input type="checkbox"/> Termostato Compuerta superior <input type="checkbox"/> Termostato Compuerta inferior		<b>ESTADOS</b> <input type="checkbox"/> Habilitado ventilador armario <input type="checkbox"/> Habilitado Resistencias Calefactoras
Date	Time	Message	State	Value

En esta pantalla general se pueden ver los modos activos de funcionamiento, emergencias, defectos y estados generales. También incluye un objeto de visualización de alarmas activas de la instalación.

## 6.2.2 Control del movimiento acimutal de la cúpula

MOTORES AZIMUT																																							
<b>MODOS</b> <input type="checkbox"/> Manual <input type="checkbox"/> Automático <input type="checkbox"/> Local <input type="checkbox"/> Remoto (PLC1) <input type="checkbox"/> Defecto <input type="checkbox"/> Emergencia	<b>DEFECTOS</b> <input type="checkbox"/> Térmico <input type="checkbox"/> Fallo Lectura Vahle <input type="checkbox"/> Posicionamiento <input type="checkbox"/> Habilitación	<b>ESTADOS</b> <input type="checkbox"/> Habilitado 380VAC <input type="checkbox"/> Habilitado Variador AZM01 <input type="checkbox"/> Habilitado Variador AZM02	<b>CONSIGNAS</b> SP Velocidad <input style="width: 50px;" type="text" value="%.1f cg/s"/> SP Pos. Destino <input style="width: 50px;" type="text" value="%.f cg"/>																																				
<b>PARÁMETROS</b> Posición actual Enc.Vahle <input style="width: 50px;" type="text" value="%.2f cg"/> Posición actual Enc.Vahle <input style="width: 50px;" type="text" value="%.f mm"/> SP Posición Destino <input style="width: 50px;" type="text" value="%.f cg"/> AZM01 Intensidad actual <input style="width: 50px;" type="text" value="%.3f A"/> AZM01 Par actual <input style="width: 50px;" type="text" value="%.3f Ilm"/> AZM02 Intensidad actual <input style="width: 50px;" type="text" value="%.3f A"/> AZM02 Par actual <input style="width: 50px;" type="text" value="%.3f Ilm"/> SP Posición Destino PLC1 <input style="width: 50px;" type="text" value="%.f cg"/> SP Velocidad PLC1 <input style="width: 50px;" type="text" value="%.f cg/s"/>	Posición actual Velocidad actual Par actual Int. absoluta Int. actual fase U Int. actual fase V Int. actual fase W Int. gen. Par Int. gen. Flujo Int. Lím. pico Int. Lím. actual Ratio de acople Par Lím. Máx.	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th style="width: 50%;">AZM01</th> <th style="width: 50%;">AZM02</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>%.f cg</td><td>%.f cg</td></tr> <tr><td>%.f cg/s</td><td>%.f cg/s</td></tr> <tr><td>%.i %</td><td>%.i %</td></tr> <tr><td>%.3f</td><td>%.3f</td></tr> <tr><td>%.i %</td><td>%.i %</td></tr> </tbody> </table>	AZM01	AZM02	%.f cg	%.f cg	%.f cg/s	%.f cg/s	%.i %	%.i %	%.i %	%.i %	%.i %	%.i %	%.i %	%.i %	%.i %	%.i %	%.i %	%.i %	%.i %	%.i %	%.i %	%.i %	%.i %	%.i %	%.i %	%.i %	%.i %	%.i %	%.i %	%.i %	%.i %	%.i %	%.3f	%.3f	%.i %	%.i %	<b>INFORMACIÓN</b> AZM01: - %s - %s AZM02: - %s - %s
AZM01	AZM02																																						
%.f cg	%.f cg																																						
%.f cg/s	%.f cg/s																																						
%.i %	%.i %																																						
%.i %	%.i %																																						
%.i %	%.i %																																						
%.i %	%.i %																																						
%.i %	%.i %																																						
%.i %	%.i %																																						
%.i %	%.i %																																						
%.i %	%.i %																																						
%.i %	%.i %																																						
%.i %	%.i %																																						
%.i %	%.i %																																						
%.i %	%.i %																																						
%.i %	%.i %																																						
%.3f	%.3f																																						
%.i %	%.i %																																						
<b>MANUAL</b> <table style="width: 100%; text-align: center;"> <tr> <td><input type="button" value="Habilitar K"/></td> <td><input type="button" value="Jog +"/></td> <td><input type="button" value="Mover Vel."/></td> <td><input type="button" value="Acoplar"/></td> <td><input type="button" value="Mover Pos."/></td> <td><input style="width: 50px;" type="text" value="%.f mm"/></td> <td><input type="button" value="Mover Pos. New"/></td> </tr> <tr> <td><input type="button" value="Habilitar Var."/></td> <td><input type="button" value="Jog -"/></td> <td></td> <td><input type="button" value="Desacoplar"/></td> <td><input type="button" value="SP Pos.Act"/></td> <td><input style="width: 50px;" type="text" value="%.f mm"/></td> <td></td> </tr> </table>				<input type="button" value="Habilitar K"/>	<input type="button" value="Jog +"/>	<input type="button" value="Mover Vel."/>	<input type="button" value="Acoplar"/>	<input type="button" value="Mover Pos."/>	<input style="width: 50px;" type="text" value="%.f mm"/>	<input type="button" value="Mover Pos. New"/>	<input type="button" value="Habilitar Var."/>	<input type="button" value="Jog -"/>		<input type="button" value="Desacoplar"/>	<input type="button" value="SP Pos.Act"/>	<input style="width: 50px;" type="text" value="%.f mm"/>																							
<input type="button" value="Habilitar K"/>	<input type="button" value="Jog +"/>	<input type="button" value="Mover Vel."/>	<input type="button" value="Acoplar"/>	<input type="button" value="Mover Pos."/>	<input style="width: 50px;" type="text" value="%.f mm"/>	<input type="button" value="Mover Pos. New"/>																																	
<input type="button" value="Habilitar Var."/>	<input type="button" value="Jog -"/>		<input type="button" value="Desacoplar"/>	<input type="button" value="SP Pos.Act"/>	<input style="width: 50px;" type="text" value="%.f mm"/>																																		
<input type="button" value="Man / Aut"/>	<input type="button" value="Paso: %d"/>	<input type="button" value="Inicio"/>	<input type="button" value="Fin"/>	<input type="button" value="Mover"/>	<input type="button" value="Parar"/>	<input type="button" value="Reset"/>																																	

Siempre que la instalación esté en modo remoto desde el PLC1, se habilita esta pantalla para el control de giro acimutal de manera local. Hay dos modos de funcionamiento:

- Manual: permite hacer cualquier tipo de movimiento, ya sea individual de cada motor para labores de mantenimiento o con los motores acoplados. Los movimientos pueden ser a través de consigna de posición y velocidad o sólo de velocidad.
- Automático: se introduce consigna de posición y velocidad, se pulsa el botón de inicio y mover y el PLC ejecuta las órdenes necesarias para girar la cúpula a la posición y velocidad establecidas.

Para cada motor se pueden leer las principales variables que devuelve el ServoDrive: posición, velocidad, consumo, par, ratio de acople.



## 6.2.3 Control del movimiento de la compuerta rendija

MOTORES COMPUERTAS RENDIJA																																													
<b>MODOS</b> <input type="checkbox"/> Manual <input type="checkbox"/> Automático <input type="checkbox"/> Defecto <input type="checkbox"/> Emergencia	<b>DEFECTOS</b> <input type="checkbox"/> Térmico <input type="checkbox"/> Control Velocidad <input type="checkbox"/> Habilitación	<b>ESTADOS</b> <input type="checkbox"/> Habilitado 380VAC <input type="checkbox"/> Habilitado Variador CRM01 <input type="checkbox"/> Habilitado Variador CRM02 <input type="checkbox"/> Abierto - Abriendo <input type="checkbox"/> Cerrado - Cerrando	<b>CONSIGNAS</b> SP Velocidad <input type="text" value="%.1f cg/s"/> Corr Tensar <input type="text" value="%.i"/> SP Pos Destino <input type="text" value="%.i cg"/> Corr Destensar <input type="text" value="%.i"/> <input type="text" value="%.i cg"/>																																										
<b>PARÁMETROS</b> SP Posición Destino <input type="text" value="%.f cg"/> SP Relativo Destino <input type="text" value="%.f cg"/> Cota Pos. Abierto <input type="text" value="%.i cg"/> Cota Pos. Cerrado <input type="text" value="%.i cg"/> Zona A - Pos Compuerta: 0° - 20° <input type="checkbox"/> Zona B - Pos Compuerta: 30° - 110° <input type="checkbox"/> CRM01 Intensidad actual <input type="text" value="%.3f A"/> CRM01 Par actual <input type="text" value="%.3f lIm"/> CRM02 Intensidad actual <input type="text" value="%.3f A"/> CRM02 Par actual <input type="text" value="%.3f lIm"/>	<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 30%;"></th> <th style="width: 35%;">CRM01 - Cierre</th> <th style="width: 35%;">CRM02 - Apertura</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Posición actual</td> <td><input type="text" value="%.f cg"/></td> <td><input type="text" value="%.f cg"/></td> </tr> <tr> <td>Velocidad actual</td> <td><input type="text" value="%.f cg/s"/></td> <td><input type="text" value="%.f cg/s"/></td> </tr> <tr> <td>Par actual</td> <td><input type="text" value="%.i %"/></td> <td><input type="text" value="%.i %"/></td> </tr> <tr> <td>Int. absoluta</td> <td><input type="text" value="%.i %"/></td> <td><input type="text" value="%.i %"/></td> </tr> <tr> <td>Int. actual fase U</td> <td><input type="text" value="%.i %"/></td> <td><input type="text" value="%.i %"/></td> </tr> <tr> <td>Int. actual fase V</td> <td><input type="text" value="%.i %"/></td> <td><input type="text" value="%.i %"/></td> </tr> <tr> <td>Int. actual fase W</td> <td><input type="text" value="%.i %"/></td> <td><input type="text" value="%.i %"/></td> </tr> <tr> <td>Int. gen. Par</td> <td><input type="text" value="%.i %"/></td> <td><input type="text" value="%.i %"/></td> </tr> <tr> <td>Int. gen. Flujo</td> <td><input type="text" value="%.i %"/></td> <td><input type="text" value="%.i %"/></td> </tr> <tr> <td>Int. Lim. pico</td> <td><input type="text" value="%.i %"/></td> <td><input type="text" value="%.i %"/></td> </tr> <tr> <td>Int. Lim. actual</td> <td><input type="text" value="%.i %"/></td> <td><input type="text" value="%.i %"/></td> </tr> <tr> <td>Ratio de acople</td> <td><input type="text" value="%.3f"/></td> <td><input type="text" value="%.3f"/></td> </tr> <tr> <td>Par Lim. Máx.</td> <td><input type="text" value="%.i %"/></td> <td><input type="text" value="%.i %"/></td> </tr> </tbody> </table>			CRM01 - Cierre	CRM02 - Apertura	Posición actual	<input type="text" value="%.f cg"/>	<input type="text" value="%.f cg"/>	Velocidad actual	<input type="text" value="%.f cg/s"/>	<input type="text" value="%.f cg/s"/>	Par actual	<input type="text" value="%.i %"/>	<input type="text" value="%.i %"/>	Int. absoluta	<input type="text" value="%.i %"/>	<input type="text" value="%.i %"/>	Int. actual fase U	<input type="text" value="%.i %"/>	<input type="text" value="%.i %"/>	Int. actual fase V	<input type="text" value="%.i %"/>	<input type="text" value="%.i %"/>	Int. actual fase W	<input type="text" value="%.i %"/>	<input type="text" value="%.i %"/>	Int. gen. Par	<input type="text" value="%.i %"/>	<input type="text" value="%.i %"/>	Int. gen. Flujo	<input type="text" value="%.i %"/>	<input type="text" value="%.i %"/>	Int. Lim. pico	<input type="text" value="%.i %"/>	<input type="text" value="%.i %"/>	Int. Lim. actual	<input type="text" value="%.i %"/>	<input type="text" value="%.i %"/>	Ratio de acople	<input type="text" value="%.3f"/>	<input type="text" value="%.3f"/>	Par Lim. Máx.	<input type="text" value="%.i %"/>	<input type="text" value="%.i %"/>	<b>INFORMACIÓN</b> CRM01: - %s - %s CRM02: - %s - %s
	CRM01 - Cierre	CRM02 - Apertura																																											
Posición actual	<input type="text" value="%.f cg"/>	<input type="text" value="%.f cg"/>																																											
Velocidad actual	<input type="text" value="%.f cg/s"/>	<input type="text" value="%.f cg/s"/>																																											
Par actual	<input type="text" value="%.i %"/>	<input type="text" value="%.i %"/>																																											
Int. absoluta	<input type="text" value="%.i %"/>	<input type="text" value="%.i %"/>																																											
Int. actual fase U	<input type="text" value="%.i %"/>	<input type="text" value="%.i %"/>																																											
Int. actual fase V	<input type="text" value="%.i %"/>	<input type="text" value="%.i %"/>																																											
Int. actual fase W	<input type="text" value="%.i %"/>	<input type="text" value="%.i %"/>																																											
Int. gen. Par	<input type="text" value="%.i %"/>	<input type="text" value="%.i %"/>																																											
Int. gen. Flujo	<input type="text" value="%.i %"/>	<input type="text" value="%.i %"/>																																											
Int. Lim. pico	<input type="text" value="%.i %"/>	<input type="text" value="%.i %"/>																																											
Int. Lim. actual	<input type="text" value="%.i %"/>	<input type="text" value="%.i %"/>																																											
Ratio de acople	<input type="text" value="%.3f"/>	<input type="text" value="%.3f"/>																																											
Par Lim. Máx.	<input type="text" value="%.i %"/>	<input type="text" value="%.i %"/>																																											
<b>MANUAL</b>																																													
<table style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Habilitar K</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Jog +</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Mover Vel.</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Acoplar</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">SP Pos.Act CRM02</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px;"><input type="text" value="%.f cg"/></td> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Mover Pos. CRM02</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px;"><input type="text" value="%.f cg"/></td> </tr> <tr> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Habilitar Var.</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Jog -</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">SuperImp CRM01</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Desacoplar</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">SP Pos.Act CRM01</td> <td></td> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Mover Pos. CRM01</td> <td></td> </tr> </table>				Habilitar K	Jog +	Mover Vel.	Acoplar	SP Pos.Act CRM02	<input type="text" value="%.f cg"/>	Mover Pos. CRM02	<input type="text" value="%.f cg"/>	Habilitar Var.	Jog -	SuperImp CRM01	Desacoplar	SP Pos.Act CRM01		Mover Pos. CRM01																											
Habilitar K	Jog +	Mover Vel.	Acoplar	SP Pos.Act CRM02	<input type="text" value="%.f cg"/>	Mover Pos. CRM02	<input type="text" value="%.f cg"/>																																						
Habilitar Var.	Jog -	SuperImp CRM01	Desacoplar	SP Pos.Act CRM01		Mover Pos. CRM01																																							
<table style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Man / Aut</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Paso: %d</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Inicio</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Fin</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Mover</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px; color: red;">Parar</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Pos Abrir</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Pos Cerrar</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Reset</td> </tr> </table>				Man / Aut	Paso: %d	Inicio	Fin	Mover	Parar	Pos Abrir	Pos Cerrar	Reset																																	
Man / Aut	Paso: %d	Inicio	Fin	Mover	Parar	Pos Abrir	Pos Cerrar	Reset																																					

Siempre que la instalación está en modo remoto desde el PLC1, se habilita esta pantalla para el control de la compuerta de manera local. Hay dos modos de funcionamiento:

- Manual: permite hacer cualquier tipo de movimiento, ya sea individual de cada motor para labores de mantenimiento o con los motores acoplados. Los movimientos pueden ser a través de consigna de posición y velocidad o sólo de velocidad.
- Automático: se introduce consigna de posición y velocidad, se pulsa el botón de inicio y mover y el PLC ejecuta las órdenes necesarias para girar la cúpula a la posición y velocidad establecidas.

Para cada motor se pueden leer las principales variables que devuelve el ServoDrive: posición, velocidad, consumo, ratio de acople.



6.2.4 Control del movimiento del Wind Shield

MOTORES WINDSHIELD

<b>MODOS</b> <input type="checkbox"/> Manual <input type="checkbox"/> Automático <input type="checkbox"/> Defecto <input type="checkbox"/> Emergencia	<b>DEFECTOS</b> <input type="checkbox"/> Térmico <input type="checkbox"/> Acople <input type="checkbox"/> Posicionamiento <input type="checkbox"/> Habilitación	<b>ESTADOS</b> <input type="checkbox"/> Habilitado 380VAC <input type="checkbox"/> Habilitado Variador WSM01 <input type="checkbox"/> Habilitado Variador WSM02 <input type="checkbox"/> Habilitado Variador WSM03	<b>CONSIGNAS</b> SP Velocidad <input type="text" value="%.1f grd/s"/> SP Pos Destino <input type="text" value="%.i cg"/>
---	---	--	--

<b>PARÁMETROS</b> Posición actual Enc.Sick <input type="text" value="%.4f rev."/> Posición actual Enc.Sick <input type="text" value="%.2f mm"/> SP Posición Destino <input type="text" value="%.f cg"/> Cota Pos. Abierto <input type="text" value="%.f mm"/> Cota Pos. Cerrado <input type="text" value="%.f mm"/> Par Control Cerrar <input type="text" value="%.i %"/> Par Control Abrir <input type="text" value="%.i %"/> Par Max Cerrar <input type="text" value="%.i %"/> Par Max Abrir <input type="text" value="%.i %"/>	Posición actual <input type="text"/> Velocidad actual <input type="text"/> Par actual <input type="text"/> Int. actual fase U <input type="text"/> Int. actual fase V <input type="text"/> Int. actual fase W <input type="text"/> Int. gen. Par <input type="text"/> Int. gen. Flujo <input type="text"/> Int. absoluta <input type="text"/> Int. Lim. pico <input type="text"/> Int. Lim. actual <input type="text"/> Ratio de acople <input type="text"/> Par Lim. Máx. <input type="text"/>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>WSM01</th> <th>WSM02</th> <th>WSM03</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td><input type="text" value="%.f cg"/></td><td><input type="text" value="%.f cg"/></td><td><input type="text" value="%.f cg"/></td></tr> <tr><td><input type="text" value="%.f cg/s"/></td><td><input type="text" value="%.f cg/s"/></td><td><input type="text" value="%.f cg/s"/></td></tr> <tr><td><input type="text" value="%.i %"/></td><td><input type="text" value="%.i %"/></td><td><input type="text" value="%.i %"/></td></tr> <tr><td><input type="text" value="%.i %"/></td><td><input type="text" value="%.i %"/></td><td><input type="text" value="%.i %"/></td></tr> <tr><td><input type="text" value="%.i %"/></td><td><input type="text" value="%.i %"/></td><td><input type="text" value="%.i %"/></td></tr> <tr><td><input type="text" value="%.i %"/></td><td><input type="text" value="%.i %"/></td><td><input type="text" value="%.i %"/></td></tr> <tr><td><input type="text" value="%.i %"/></td><td><input type="text" value="%.i %"/></td><td><input type="text" value="%.i %"/></td></tr> <tr><td><input type="text" value="%.i %"/></td><td><input type="text" value="%.i %"/></td><td><input type="text" value="%.i %"/></td></tr> <tr><td><input type="text" value="%.i %"/></td><td><input type="text" value="%.i %"/></td><td><input type="text" value="%.i %"/></td></tr> <tr><td><input type="text" value="%.i %"/></td><td><input type="text" value="%.i %"/></td><td><input type="text" value="%.i %"/></td></tr> <tr><td><input type="text" value="%.3f"/></td><td><input type="text" value="%.3f"/></td><td><input type="text" value="%.3f"/></td></tr> <tr><td><input type="text" value="%.i %"/></td><td><input type="text" value="%.i %"/></td><td><input type="text" value="%.i %"/></td></tr> <tr><td><input type="text" value="%.i %"/></td><td><input type="text" value="%.i %"/></td><td><input type="text" value="%.i %"/></td></tr> <tr><td><input type="text" value="%.i %"/></td><td><input type="text" value="%.i %"/></td><td><input type="text" value="%.i %"/></td></tr> </tbody> </table>	WSM01	WSM02	WSM03	<input type="text" value="%.f cg"/>	<input type="text" value="%.f cg"/>	<input type="text" value="%.f cg"/>	<input type="text" value="%.f cg/s"/>	<input type="text" value="%.f cg/s"/>	<input type="text" value="%.f cg/s"/>	<input type="text" value="%.i %"/>	<input type="text" value="%.3f"/>	<input type="text" value="%.3f"/>	<input type="text" value="%.3f"/>	<input type="text" value="%.i %"/>	<b>INFORMACIÓN</b> WSM01: - %s - %s WSM02: - %s - %s WSM03: - %s - %s																															
WSM01	WSM02	WSM03																																														
<input type="text" value="%.f cg"/>	<input type="text" value="%.f cg"/>	<input type="text" value="%.f cg"/>																																														
<input type="text" value="%.f cg/s"/>	<input type="text" value="%.f cg/s"/>	<input type="text" value="%.f cg/s"/>																																														
<input type="text" value="%.i %"/>	<input type="text" value="%.i %"/>	<input type="text" value="%.i %"/>																																														
<input type="text" value="%.i %"/>	<input type="text" value="%.i %"/>	<input type="text" value="%.i %"/>																																														
<input type="text" value="%.i %"/>	<input type="text" value="%.i %"/>	<input type="text" value="%.i %"/>																																														
<input type="text" value="%.i %"/>	<input type="text" value="%.i %"/>	<input type="text" value="%.i %"/>																																														
<input type="text" value="%.i %"/>	<input type="text" value="%.i %"/>	<input type="text" value="%.i %"/>																																														
<input type="text" value="%.i %"/>	<input type="text" value="%.i %"/>	<input type="text" value="%.i %"/>																																														
<input type="text" value="%.i %"/>	<input type="text" value="%.i %"/>	<input type="text" value="%.i %"/>																																														
<input type="text" value="%.i %"/>	<input type="text" value="%.i %"/>	<input type="text" value="%.i %"/>																																														
<input type="text" value="%.3f"/>	<input type="text" value="%.3f"/>	<input type="text" value="%.3f"/>																																														
<input type="text" value="%.i %"/>	<input type="text" value="%.i %"/>	<input type="text" value="%.i %"/>																																														
<input type="text" value="%.i %"/>	<input type="text" value="%.i %"/>	<input type="text" value="%.i %"/>																																														
<input type="text" value="%.i %"/>	<input type="text" value="%.i %"/>	<input type="text" value="%.i %"/>																																														

<b>MANUAL</b> <input type="button" value="Habilitar K"/> <input type="button" value="Jog +"/> <input type="button" value="Mover Vel."/> <input type="button" value="Acoplar"/> <input type="button" value="Refer. cero Sick"/> <input type="button" value="Habilitar Var."/> <input type="button" value="Jog -"/> <input type="button" value="Desacoplar"/>	<b>ACOPLADOS</b> <input type="button" value="Mover Pos. 2-3"/> <input type="button" value="Mover Pos. 1"/> <input type="text" value="%.f cg"/> <input type="button" value="SP Pos.Act 2-3"/> <input type="button" value="SP Pos.Act 1"/> <input type="text" value="%.f cg"/>
---	--

<input type="button" value="Man / Aut"/>	<input type="text" value="Paso: %d"/>	<input type="button" value="Inicio"/>	<input type="button" value="Fin"/>	<input type="button" value="Bajar"/>	<input type="button" value="Subir"/>	<input type="button" value="Mover"/>	<input type="button" value="Parar"/>	<input type="button" value="Reset"/>
--	---------------------------------------	---------------------------------------	------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------

Siempre que la instalación está en modo remoto desde el PLC1, se habilita esta pantalla para el control de la compuerta de manera local. Hay dos modos de funcionamiento:

- Manual: permite hacer cualquier tipo de movimiento, ya sea individual de cada motor para labores de mantenimiento o con los motores acoplados. Los movimientos pueden ser a través de consigna de posición y velocidad o sólo de velocidad.
- Automático: se introduce consigna de posición y velocidad, se pulsa el botón de inicio y mover y el PLC ejecuta las órdenes necesarias para girar la cúpula a la posición y velocidad establecidas.

Para cada motor se pueden leer las principales variables que devuelve el ServoDrive: posición, velocidad, consumo, ratio de acople.



### 7 Instalación y puesta en servicio

El proceso de fabricación, montaje y puesta en servicio se puede resumir en los siguientes puntos principales:

1. Selección de los accionamientos y elementos de control.
2. Diseño de la documentación eléctrica y compra de materiales.
3. Fabricación de los paneles eléctricos y pruebas en el taller eléctrico:
  - a. Pruebas eléctricas de las protecciones, contactores, relés, alimentación, pruebas dieléctricas, tierras, etc.
  - b. Pruebas de PLC:
    - i. Comunicaciones profibus.
    - ii. Emergencias y PLC de seguridad,
    - iii. ServoDrives, servos y encoders.
    - iv. Encoder absoluto SICK con comunicación SSI.
4. Montaje de la cúpula en el taller mecánico de fabricación para hacer los primeros montajes y las primeras pruebas de movimiento. Este primer paso en el montaje fue imprescindible para poder detectar posibles problemas teniendo un mayor poder de reacción.
  - a. Montaje mecánico de la cúpula. Instalación del panel 0X01 a bordo de la cúpula. Instalación y cableado provisional de los accionamientos.
  - b. Montaje mecánico de la compuerta superior. Instalación de los 2 carriles electrificados que dan acometida a los sistemas de calefacción de las 2 compuertas y la caja con el termostato de control. Instalación del cable calefactor de la compuerta y de las guías. Pruebas del sistema de calefacción.
  - c. Montaje mecánico de la compuerta inferior. Instalación de la caja con el termostato de control. Instalación del cable calefactor de la compuerta y de las guías. Pruebas del sistema de calefacción.
  - d. Montaje de la compuerta inferior sobre la cúpula.
  - e. Montaje de la compuerta superior y posterior acoplamiento entre las dos compuertas.
  - f. Primeras pruebas de movimiento de las compuertas.
  - g. Primeras pruebas de movimiento de giro acimutal.



- h. Prueba en blanco con el cliente final. Se hacen pruebas de movimiento acimutal y movimiento de la compuerta mientras se grafican las principales variables para extraer las primeras conclusiones de consumos, pares, precisión del movimiento, etc.
- 5. Montaje de la cúpula en su destino de operación.
  - a. Se desmonta la cúpula en el taller de fabricación y se transporta en camiones especiales.
  - b. Se vuelve a montar la cúpula en la base del edificio del telescopio.
  - c. Trabajos eléctricos en la cúpula:
    - i. Instalación de las bandejas porta cables.
    - ii. Cableado definitivo de accionamientos, emergencias, encoders, escobillas de los carriles de la compuerta superior y en general todos los elementos a bordo de la cúpula.
    - iii. Instalación del panel eléctrico 0X00 con los silent blocks como aisladores eléctricos y cableado de los elementos de campo.
  - d. Trabajos eléctricos en el edificio del telescopio:
    - i. Instalación del panel eléctrico 0X00.
    - ii. Instalación de las bandejas porta cables.
    - iii. Cableado de los motores y finales de carrera de las persianas y compuertas de las ventanas fijas.
    - iv. Instalación del carril electrificado del anillo acimutal para dar acometida al panel 0X01 a bordo de la cúpula.
  - e. Izado de la cúpula.
  - f. Montaje mecánico del Wind Shield
  - g. Instalación de las 2 escobillas que pasan la acometida del carril electrificado al panel 0X01.
  - h. Pruebas del encoder absoluto del carril acimutal. Ajuste fino del movimiento evitando los deslizamientos de las ruedas motrices.
  - i. Pruebas finales de los 3 movimientos.
  - j. Montaje del telescopio y pruebas de interconexiones.



## 8 ANEXO A – Documentación software

### 8.1 PLC1: panel eléctrico 0X00

8.1.1 FB00\_GEN

8.1.2 FB10\_VM: Bloque de función para la gestión de motores Compuerta y Persiana

8.1.3 FB25\_ProfibusServo\_PLC1\_PLC2

8.1.4 FB26\_ProfibusServo\_PLC2\_PLC1

8.1.5 FB27\_ProfibusGen\_PLC2\_PLC1

8.1.6 FB28\_ProfibusGen\_PLC1\_PLC2

8.1.7 MAIN

8.1.8 Estructuras de datos

8.1.9 Variables globales

### 8.2 PLC2: panel eléctrico 0X01

8.2.1 FB00\_GEN

8.2.2 FB12\_AZ. Llamada a FB de gestión de movimiento Azimutal

8.2.3 FB10\_CR. Llamada a FB de gestión de movimiento Compuerta

8.2.4 FB11\_WS. Llamada a FB de gestión de movimiento Wind Shield

8.2.5 FB13\_RC. Llamada a FB de gestión de Resistencias Calefactoras

8.2.6 FB20\_MenorDistancia

8.2.7 FB21\_DesarrolloLineal

8.2.8 FB22\_FiltroAnalogico

8.2.9 FB24\_CompuertaCG

8.2.10 FB25\_ProfibusServo\_PLC1\_PLC2

8.2.11 FB26\_ProfibusServo\_PLC2\_PLC1

8.2.12 FB27\_ProfibusGen\_PLC1\_PLC2

8.2.13 FB28\_ProfibusGen\_PLC2\_PLC1

8.2.14 MAIN

8.2.15 Estructuras de datos

8.2.16 Variables globales