

GRADO EN INGENIERIA EN TECNOLOGÍA INDUSTRIAL

TRABAJO FIN DE GRADO

**<CONTROL DE UN SISTEMA DE 3 EJES
CARTESIANOS CON SIMOTION>**

Alumno: Olazabal Roman, Ion

Director: Orive Revillas, Dario

Curso: 2017-2018

Fecha: <19 de junio de 2018 >

TABLA DE CONTENIDOS

TABLA DE CONTENIDOS	3
Resumen	6
Abstract	6
Laburpena	6
LISTADO DE TABLAS	7
LISTADO DE ILUSTRACIONES	7
1. MEMORIA	9
1.1 Introducción	9
1.2 Contexto	10
1.3 Objetivo y alcance del trabajo	12
1.4 Beneficios que aporta el trabajo	13
1.4.1 Beneficios generales	13
1.4.2 Beneficios económicos	13
1.4.3 Beneficios ambientales	14
1.4.4 Beneficios académicos	14
1.5 Análisis de alternativas	14
1.5.1 AX5000:	15
1.5.2 SIMOTION P:	16
1.5.3 SIMOTION D:	17
1.5.4 SINAMICS G 120	18
1.6 ANÁLISIS DE RIESGOS	20
2 METODOLOGÍA SEGUIDA EN EL DESARROLLO DEL TRABAJO	22
2.1 Descripción de tareas	22

2.1.1	Búsqueda y síntesis de la información	22
2.1.2	Estudio de los equipos	22
2.1.3	Montaje	22
2.1.4	Sistemas de seguridad	22
2.1.5	Conexiones	23
2.1.6	Actualización de los equipos.....	23
2.1.7	Instalación y configuración del proyecto	23
2.1.8	Comprobación de drives	23
2.1.9	Control de ejes	24
2.1.10	Programación de la aplicación.....	24
2.1.11	Prototipo	24
2.1.12	Comprobación de ejes sobre el prototipo.....	24
2.2	Descripción del Hardware	25
2.3	Descripción del Software:	28
2.4	Descripción del control de ejes.....	32
2.5	Aplicaciones.....	33
2.5.1	Diagrama de flujo	34
2.5.2	Cuadrado	36
2.5.3	Triángulo equilátero.....	38
2.5.4	Círculo.....	40
2.6	Diagrama de Gantt/cronograma	42
3	PRESUPUESTO	44
3.1	Recursos Humanos	44
3.2	Amortizaciones.....	45
3.3	Otros gastos.....	45
3.4	Costes indirectos	46

4	CONCLUSIONES	47
5	BIBLIOGRAFÍA	48
6	ANEXOS	50
	6.1 ANEXO I: Conexiones del hardware	50
	6.2 ANEXO II: Rúbricas de evaluación	52

Resumen

El presente trabajo de fin de grado tiene como objetivo el control de velocidad y posicionamiento de una estructura de tres ejes cartesianos con el sistema de control de movimiento SIMOTION ofertada por la marca Siemens. Para llevar a cabo dicho control, será necesario conocer las características y el funcionamiento de todos los equipos que formarán el sistema, ya sean reales o virtuales. Posteriormente, se procederá a diseñar el código necesario combinando dos lenguajes diferentes (MCC y ST) con el objetivo de probar y ejecutar la aplicación deseada, tanto en simulación como en la máquina. Finalmente, se construirá la estructura donde se llevará a la realidad la aplicación propuesta.

Abstract

The objective of the present final degree project is to establish a control of speed and positioning of a structure with three Cartesian axes with the SIMOTION motion control system offered by the Siemens brand. To carry out this job, it will be essential to know the characteristics and the operation of the equipment the system is compound with, whether they are real or virtual. Subsequently, we will proceed to design the necessary code combining two different languages (MCC and ST) in order to load and execute the desired application, either in simulation or in the machine. Finally, the structure in which the proposed application will be taken to reality, will be built.

Laburpena

Hemen aurkitzen dugun gradu amaierako lan honetan, Siemens markak eskeinitako SIMOTION mugimendu kontrol sisteman oinarritzen den hiru ardatz kartesiarren posizio eta abiaduraren kontrola proposatzen da. Horretarako, beharrezkoa izango da sistema osatzen duten ekipoen ezaugarriak eta hauen funtzionamendua guztiz ulertzea, nahiz eta hauek errealak zein birtualak izan. Ondoren, makinan zein simulazioan konprobatu eta exekutatzeko helburuarekin, kodigoa bi lengoia ezberdin konbinatuz (MCC eta ST) idatziko da. Bukatzeko, desiratutako aplikazioa burutuko den prototipoa eraikiko da.

LISTADO DE TABLAS

<i>Tabla 1. Evaluación de AX5000</i>	15
<i>Tabla 2. Evaluación de SIMOTION P</i>	16
<i>Tabla 3. Evaluación SIMOTION D</i>	17
<i>Tabla 4. Evaluación SINAMICS G120</i>	18
<i>Tabla 5. Evaluación de riesgos</i>	20
<i>Tabla 6. Leyenda del Sistema de control</i>	27
<i>Tabla 7. Leyenda de Ingeniería SIMOTION Scout</i>	29
<i>Tabla 8. Conexión de sensores del eje X</i>	34
<i>Tabla 9. Diagrama de Gantt</i>	42
<i>Tabla 10. Leyenda del Diagrama de Gantt</i>	43
<i>Tabla 11. Presupuesto general</i>	44
<i>Tabla 12. Presupuesto Recursos Humanos</i>	44
<i>Tabla 13. Amortizaciones</i>	45
<i>Tabla 14. Presupuesto de otros gastos</i>	45
<i>Tabla 15. Presupuesto de costes indirectos</i>	46

LISTADO DE ILUSTRACIONES

<i>Ilustración 1. AX5000 (3 tarjetas acopladas, modelo AX52xx)</i>	15
<i>Ilustración 2. Simotion P</i>	16
<i>Ilustración 3. Simotion D</i>	17
<i>Ilustración 4. SINAMICS G120</i>	18
<i>Ilustración 5. Elementos del sistema de control de movimiento</i>	27
<i>Ilustración 6. Ingeniería SIMOTION Scout</i>	28
<i>Ilustración 7. Execution System</i>	30
<i>Ilustración 8. Ejemplo de conexiones Drive-CLiQ</i>	32
<i>Ilustración 9. Sistema de tres ejes cartesianos</i>	33

<i>Ilustración 10. Diagrama de flujo del trazado general</i>	<i>35</i>
<i>Ilustración 11. Trazado de un cuadrado</i>	<i>37</i>
<i>Ilustración 12. Algoritmo del Cuadrado</i>	<i>38</i>
<i>Ilustración 13. Trazado de un triángulo equilátero.....</i>	<i>39</i>
<i>Ilustración 14. Algoritmo del código del triángulo equilátero</i>	<i>40</i>
<i>Ilustración 15. Trazado de un círculo</i>	<i>41</i>
<i>Ilustración 16. Algoritmo del código del círculo.....</i>	<i>41</i>
<i>Ilustración 17. Conexiones del Hardware.....</i>	<i>50</i>

1. MEMORIA

1.1 Introducción

En un mundo en el que la competencia es tan alta, el avance tecnológico tan grande y la demanda de productos tan amplia y exigente, las formas y procesos de producción deben adaptarse al progreso. Actualmente, nos encontramos en medio de lo que algunos empiezan a denominar la cuarta revolución industrial o Industria 4.0. Por ende, la implantación de procesos industriales cada vez más competentes es un hecho, y una de las principales causas de este avance es el desarrollo de los sistemas de control rápidos, flexibles y precisos.

Es muy común que las líneas de producción estén formadas por procesos con máquinas compuestas de elementos móviles que requieren un control complejo de velocidad, posición o de hasta sincronización con otras partes. Obviamente dependiendo del producto y de las especificaciones requeridas, el tipo de máquina y tecnología usadas variarán. Además, la demanda de control cada vez es mayor por lo que se puede sostener que todas comparten la necesidad de controlar los parámetros citados anteriormente de manera precisa, rápida y eficiente.

La tecnología en la que se basan este tipo de sistemas, en este caso de la casa SIEMENS se denomina SIMOTION. Y esta familia de productos SIMOTION, se fundamenta en controlar acciones de movimientos complicados, por lo general, en un sistema de lazo cerrado. Con esta ingeniería, se podrá establecer un control exhaustivo del accionamiento objetivo.

1.2 Contexto

Hasta la actualidad, gran parte de los procesos se basaban en lo que se conocen como PLC (Programmable Logic Controller o Autómatas Programables). Estos dispositivos constan de una CPU, encargada de procesar y ejecutar los programas, y una memoria interna en la que se almacenará todo tipo de datos, código y demás. La ventaja que ofrecen estos aparatos sobre todo se fundamenta en el control de señales tipo BOOL (aunque también pueden procesar todo tipo de señales analógicas), es decir, los autómatas programables están diseñados para trabajar con entradas y salidas digitales. Lo cual, lo convierte un dispositivo de control indispensable para automatizar cualquier proceso. Por tanto, es el más adecuado para el control de procesos secuenciales.

No obstante, el control lógico suponía una limitación muy considerable a la hora de controlar objetos tecnológicos. Por ello, el control de parámetros físicos como por ejemplo la tensión o la frecuencia se trataban con unos aparatos diferentes a los PLC como pueden ser Servo Drives o variadores de frecuencia. Básicamente lo que hacen estos aparatos con la electrónica de potencia que tienen incluida es, con las señales de control y la fuente de alimentación conectada, manipulan y transforman la energía de tal manera que los accionamientos cumplan con las órdenes recibidas.

Sin embargo, hay un problema en el momento en el que se quiere controlar un movimiento específico de un cierto nivel de dificultad con una programación más orientada a objetos tecnológicos. En estos casos, es preciso utilizar equipos diseñados específicamente para el control de movimiento. La ventaja que supone este avance llega con la fusión de dos características principales: por un lado, el control que pueda ejercer la electrónica de potencia sobre los accionamientos, y por otro, la inteligencia y la capacidad de las CPU para procesar y ejecutar código.

Tal y como se puede desprender de lo que venimos exponiendo, el principal objetivo de este tipo de sistemas será controlar todo tipo de ejes que requieran cierto grado de complejidad, tanto de movimiento, como de cálculo de sus respectivos parámetros, además de los

movimientos más básicos. Por lo tanto, se abren nuevas vías de desarrollo que permitirán producir de forma automática productos que anteriormente eran inviables o tenían algún tipo de limitación en el proceso de fabricación.

Debido a la amplia demanda y al gran impacto que están generando los equipos encargados de llevar a cabo este tipo de tareas, se decidió trabajar en este proyecto con uno de los muchos equipos disponibles en el mercado, con el objetivo de adquirir ciertas competencias en este subcampo del control de accionamientos, dentro del mundo de la automatización de cara a la nueva revolución industrial.

Sin embargo, hay varios tipos de movimiento que se pueden tener que plantear. En el presente proyecto en concreto, se optó por 3 ejes lineales en un sistema de ejes cartesianos, debido a que son movimientos básicos que se dan en muchas aplicaciones.

Este tipo de estructuras ofrecen una gran posibilidad de maniobra en trabajos que requieran movimientos en un plano. Por ejemplo, una máquina de corte por láser que trabaja en un único plano se fundamenta en este tipo de estructura. Además de eso, si se le suma un tercer eje obtendríamos el esqueleto de una impresora 3D. Si pasamos a una escala superior, nos encontraríamos con la distribución de una grúa y si vamos aún más lejos, en caso de añadir otro grado de libertad (como el movimiento rotatorio), existiría la posibilidad de crear máquinas paletizadoras, tornos y demás.

1.3 Objetivo y alcance del trabajo

Conociendo una de las principales necesidades que precisa satisfacer la industria actual, el objetivo principal del presente trabajo consistirá en conseguir, una base sólida del manejo de un sistema cartesiano capaz de realizar, mediante el control de velocidad y posición, trayectorias y figuras en un espacio de tres dimensiones. Sin embargo, la dificultad que supone encontrar la opción óptima es algo para tener en cuenta, por lo que, como objetivo específico, que no por ello menos importante, consistirá en buscar y encontrar toda la información y ayuda necesaria que simplifique el trabajo a realizar.

Una vez tengamos el sistema configurado y el prototipo construido y listo para probar, éste deberá de ser capaz de ejecutar un código previamente escrito y cargado en la CPU, de manera rápida y precisa, respetando, eso sí, todas las medidas de seguridad que se hayan establecido de antemano como pueden ser distancias de seguridad en los ejes, velocidades máximas del motor, etc.

Respecto al diseño del código, en la medida de lo posible será documentado a nivel de usuario facilitando de este modo posteriores modificaciones para aplicaciones futuras. Además, habrá que buscar la manera más eficiente de programarlo, evitando así que el sistema pierda el tiempo con operaciones innecesarias que retrasen la acción. Habrá que elegir el lenguaje de programación más adecuado para la aplicación. Concretamente, en el caso del software que se utilizará, se aceptan hasta cuatro lenguajes diferentes (MCC, FBD, LAB y ST), por lo que se tendrá que elegir el lenguaje más apropiado para cada situación. En este caso, se optará por combinar los lenguajes MCC (lenguaje gráfico) y ST (texto estructurado).

Una vez clarificado todo lo anterior, el proyecto comenzará con el montaje del hardware en un bastidor, facilitando de este modo, la manipulación de éste con seguridad. Cabe destacar, que el hardware ofrece varias posibilidades y alternativas de conexión dependiendo de las funciones que se requieran, por lo tanto, es muy importante que el cableado del sistema sea correcto. Con la puesta en marcha finalizada, se ejecutarán recorridos o figuras simples como cuadrados y círculos para comprobar que todo funciona como se esperaba.

1.4 Beneficios que aporta el trabajo

1.4.1 *Beneficios generales*

Tratándose de un sistema cuya evolución tecnológica está siendo muy grande, y teniendo en cuenta que cada vez son más las empresas que deciden aplicar este tipo de sistemas de control en sus cadenas de producción, resulta muy positivo trabajar y adquirir conocimientos de un campo que suscita tanto interés.

Una de las ventajas de este sistema, se fundamenta en que simplifica más que otros equipos el hecho de implantar el control de movimiento de acciones complejas, que hasta la actualidad resultaban ser impensables, en un tiempo de respuesta muy pequeño. De hecho, la herramienta de ingeniería Software encargada de configurar y programar el sistema facilita la ingeniería necesaria en comparación con los métodos usados anteriormente. Al aminorar los tiempos de ciclo prácticamente a milésimas de segundo, el margen de error de los dispositivos encargados de ejecutar las tareas es muy pequeño, por lo que la precisión será un factor adecuado para casos muy exigentes. Obviamente la gama del producto hará que las prestaciones de los equipos sean mayores o menores, pero, aunque todos sirvan para manejar ejes, la diferencia entre productos será notoria en cuanto a velocidad de respuesta, velocidad de procesamiento y número de ejes se refiere.

1.4.2 *Beneficios económicos*

No es fácil pensar en unos beneficios económicos en este tipo de proyectos, pues no es una aplicación directa útil que pueda ayudar a generar dinero, básicamente porque está pensado para el mundo académico. Sin embargo, es un trabajo muy interesante para poder llegar a obtener conocimientos importantes sobre el control de ejes en un futuro próximo. Esto quiere decir que, en el momento que se utilice esta tecnología adecuadamente, enfocado al sector industrial, aumentará la competitividad de las empresas de forma significativa. Con esto se conseguirá disminuir pérdidas incluso añadir valor a los productos. Además, al ser equipos muy fiables que requieren muy poco mantenimiento, los gastos se verán considerablemente reducidos. De todas formas, se estudiará más detalladamente en el presupuesto más adelante.

1.4.3 Beneficios ambientales

Aunque resulte obvio, un buen diseño del sistema de control permitirá optimizar el consumo de energía, por lo que habrá que tenerlo en cuenta. Además, el hecho de tener una tarjeta de alimentación Smart Line, permitirá devolver a la red la energía que no se utilice.

1.4.4 Beneficios académicos

Al tratarse de un proyecto con una tecnología hasta ahora no utilizada en el departamento, se empieza prácticamente desde cero, por lo tanto, el encargado de realizarlo desarrollará una capacidad de búsqueda y síntesis de la información muy grande. A su vez, al estar compuesto tanto por Hardware como por Software, habrá que estudiar los dos campos consiguiendo así una idea global del proyecto y del funcionamiento de todas las máquinas que funcionen con el mismo principio. Por lo tanto, se adquirirán competencias tanto de la herramienta de ingeniería, como del comportamiento de los equipos. No obstante, de cara al mundo laboral, hay mucha demanda de profesionales que cumplan con este perfil de conocimientos por lo que resulta realmente positivo.

1.5 Análisis de alternativas

Al igual que en la mayoría de las tecnologías, en los sistemas de control de movimiento hay una amplia variedad de opciones disponibles en el mercado. No obstante, por lo general, en el mercado europeo predominan las marcas alemanas, aunque no son las únicas. Además de Beckhoff y Siemens, marcas como SEW proponen soluciones para el control de movimiento que varían desde lo más básico hasta lo más complejo. Y por esta razón, podemos encontrar varios equipos diferentes divididos en familias dependiendo de su funcionalidad o de sus prestaciones. A su vez, dentro de una misma familia, hay una amplia gama de los productos.

El objetivo inicial de este proyecto consiste en controlar tres ejes cartesianos, por lo tanto, se han estudiado los sistemas que soporten el control de múltiples ejes:

1.5.1 AX5000:



Ilustración 1. AX5000 (3 tarjetas acopladas, modelo AX52xx)

Una de las soluciones que plantea la empresa Beckhoff es el sistema para servos de uno o varios ejes AX5000. Incluye un sistema de conexión rápida llamada AX-Bridge, la cual hace que las tarjetas a acoplar se puedan colocar de tal manera que no sean necesarias la utilización de herramientas ni tornillos. Existe una ventaja importante respecto a otros productos en cuanto a accionamientos se refiere, ya que es posible conectar dos accionamientos diferentes a un mismo módulo, siempre y cuando éste sea de dos canales y no supere la corriente máxima admisible.

En lo que a prestaciones se refiere:

- Puede controlar hasta 100 ejes.
- El controlador tiene un tiempo estimado por ciclo de 62.5 μ s (por tarjeta individual).
- Las comunicaciones vía EtherCAT ofrecen unas velocidades de ciclo altísimas de comunicación, hasta 62.5 μ s.
- La fuente de alimentación de 24V está integrada.
- Es muy flexible con los tipos de accionamientos que se le puedan conectar, es decir, se pueden conectar todo tipo de motores: síncronos, asíncronos, de corriente continua, etc.

Evaluación:

	Prestaciones	Facilidad de uso	Coste	Apoyo	TOTAL
Puntuación	7	5	6	3	21

Tabla 1. Evaluación de AX5000

1.5.2 SIMOTION P:



Ilustración 2. Simotion P

La solución para Motion Control basada en PC que ofrece Siemens sería el SIMOTION P. Sin embargo, este equipo incluye un PC sin piezas giratorias, por lo que lo hace ideal para entornos industriales. Además, resulta ser el equipo más compacto y de más alto rendimiento que ofrece la marca en este campo. Una de sus grandes ventajas es que a parte de las habituales aplicaciones SIMOTION, existe la posibilidad de ejecutar otras aplicaciones de PC,

como pueden ser el sistema de ingeniería de SIMOTION o una rutina de evaluación de datos de proceso. De hecho, dentro de su memoria interna están guardados el sistema operativo de Windows y la ingeniería SIMOTION. Es la perfecta combinación de la robustez de un PLC con la funcionalidad completa de “Motion Control” que ofrece SIMOTION.

En lo que a prestaciones se refiere:

- Puede controlar hasta 128 ejes.
- Tiempo estimado por ciclo de 250 μ s.
- Comunicaciones vía PROFINET, ciclos de hasta 250 μ s.

Evaluación:

	Prestaciones	Facilidad de uso	Precio asequible	Apoyo	TOTAL
Puntuación	10	2	4	5	21

Tabla 2. Evaluación de SIMOTION P

1.5.3 SIMOTION D:



Ilustración 3. Simotion D

Es la versión compacta de SIMOTION que se basa en los Drives, por lo que lleva integrado el software SINAMICS S120 encargado de los Drives. Dentro del mismo tipo de equipo existen diferentes modelos con diferentes prestaciones, pero debido a las necesidades actuales, se analizará la versión SIMOTION D-425.

En este equipo el PLC, las funciones tecnológicas y de Motion Control, así como el drive integrado SINAMICS S120, se ejecutan en un hardware de control compartido. La gran ventaja del equipo reside en que todas las funciones anteriores actúan directamente sobre el drive. Además, la ingeniería que se utiliza con este aparato se reduce al mínimo, por lo que resulta más sencillo trabajar con este producto en caso de ser nuevo en el subcampo del control de movimiento. Cabe destacar, que al actuar directamente sobre los drives el tiempo de respuesta se reduce considerablemente comparado con otros equipos que no actúan de la misma forma.

En lo que a prestaciones se refiere:

- Puede controlar hasta 16 ejes.
- Se puede adaptar las tarjetas más adecuadas para cada aplicación.
- Tiempo estimado por ciclo de 500 μ s.
- Comunicaciones vía PROFIBUS 100 μ s.

Evaluación:

	Prestaciones	Facilidad de uso	Coste	Apoyo	TOTAL
Puntuación	8	6	5	7	26

Tabla 3. Evaluación SIMOTION D

1.5.4 SINAMICS G 120



SINAMICS G 120 es un variador de frecuencia y es considerado el elemento más bajo en cuanto a prestaciones se refiere, lo más básico. Tiene un diseño modular que consta de dos partes principales: La unidad de control y un módulo de potencia.

El SIMOTION D, está basado en este módulo en concreto. Muy cómodo desde su instalación hasta su mantenimiento. Es ideal para entornos difíciles debido a su robustez y su fiabilidad.

Ilustración 4. SINAMICS G120

En cuanto las prestaciones, se pueden combinar hasta tres elementos, es decir, dependiendo de lo que se requiera, se deberán de elegir un *Power Module* y una unidad de control (se le podrán anexas componentes opcionales como panel de mando o una tapa ciega).

	Prestaciones	Facilidad de uso	Coste	Apoyo	TOTAL
Puntuación	3	7	5	7	22

Tabla 4. Evaluación SINAMICS G120

**Para más información sobre la rúbrica de evaluación consúltese el, Anexo II Rúbricas de evaluación.*

Del mismo modo, los accionamientos encargados de transmitir la energía a los ejes pueden variar en función del tipo de aplicación que se requiera. Por lo tanto, las características de movimiento que estos ofrecen y su respectivo control variará también. Para este proyecto se estudiarán los motores eléctricos, ya que se considera que son los más adecuados para el posicionamiento y velocidad de cualquier eje. Aun así, hay hasta cuatro tipos de motores que se puedan utilizar: motores asíncronos, motores síncronos, motores de corriente continua y motores paso a paso. No obstante, se estudiarán las opciones de los motores asíncronos y

síncronos, ya que son las opciones que mejor se adecúan a nuestro objetivo final. Es importante resaltar, que, aunque nos vamos a referir a todos ellos como motores de forma abreviada, todos ellos realmente son servomotores.

Tipos de motores:

- Motores trifásicos asíncronos: Son los motores más robustos, baratos y con mayor par de todos los tipos de motor eléctrico. Además, dependiendo del tipo de rotor, suelen ser rotores con mucha inercia. Sin embargo, el hecho de que sean asíncronos y de mucha inercia, hace que el control sobre los mismos se dificulte. En aplicaciones precisas, el tiempo que transcurre entre la consigna y la respuesta del rotor es muy grande comparada con el resto de los motores. Es por eso por lo que los motores asíncronos se utilizan en máquinas de magnitudes considerables como grúas, en las que se requieren movimientos, no tan precisos y rápidos, de elementos muy pesados.
- Motores trifásicos síncronos: a diferencia de los asíncronos, los motores síncronos ofrecen un rango de maniobra muy amplio. Son motores con poca inercia que facilitan los cambios bruscos de posición, velocidad y aceleración. En caso de que se usen correctamente, prácticamente son motores que no requieren mantenimiento alguno. Estas características los hacen ideales para aplicaciones de maquinaria relativamente pequeña que se dedica a realizar movimientos rápidos y precisos.

Aunque no se haga uso de ellos, cabe destacar la existencia de accionamientos neumáticos e hidráulicos. Como se ha comentado previamente, son adecuados para movimientos básicos. Los accionamientos hidráulicos son ideales para movimientos que requieran de mucha fuerza o presión. De la misma manera, los accionamientos neumáticos son de gran utilidad en movimientos secuenciales a menor escala.

En conclusión, la solución elegida será la plataforma SIMOTION D-425 con los motores trifásicos síncronos. Aunque el objetivo principal sea un control básico de tres ejes, este sistema estará completamente desaprovechado, pero pensando en un futuro cercano, las aplicaciones en las que se usará el sistema serán cada vez más complejas por lo que se le sacará provecho.

1.6 ANÁLISIS DE RIESGOS

En este apartado se analizarán los posibles riesgos que puedan desestabilizar o ralentizar el desarrollo del trabajo. Para ello se dispondrán en una tabla la probabilidad y la gravedad de las causas que puedan ocurrir.

Causas	Probabilidad	Gravedad	TOTAL
Prestaciones insuficientes	1	8	8
Ruptura de equipos	5	9	45
Incompatibilidad entre equipos	2	8	16
Diseño erróneo del código	5	2	10
Retraso de objetivos	7	3	21
Fallo de sistemas de seguridad	1	10	10
Interferencias en la red	9	4	36

Tabla 5. Evaluación de riesgos

**Para una información más detallada, Anexo II Rúbricas de evaluación.*

Como muestra la Tabla 5, la causa más significativa es la ruptura de equipos. Por lo tanto, y al no haber una solución concreta, se tendrán que manipular y controlar los equipos con sumo cuidado, siguiendo todas las instrucciones que faciliten los manuales para asegurar así la integridad de los elementos.

En cuanto a las interferencias en la red son un hecho. Cuando se conectan equipos industriales a la misma red que equipos ofimáticos se crean interferencias que pueden dañar el resto de los aparatos. La solución será colocar un filtro entre la red y el SIMOTION. A falta de recursos, otra opción será conectar los equipos ofimáticos a otra red diferente.

Respecto al retraso de objetivos, es una causa muy probable debido a la dificultad que supondrá el desconocimiento previo de los equipos. Se intentará en la medida de lo posible, reducir los retrasos optimizando los trabajos a realizar con ayuda externa.

Finalmente, el error en el dimensionamiento del equipo a la aplicación puede suponer un error fatal en el proyecto. Es probable que las versiones de Firmware deban actualizarse, aunque esto no suponga mucha dificultad, pues mientras los equipos puedan soportarlos, la actualización será fácil y sencilla.

2 METODOLOGÍA SEGUIDA EN EL DESARROLLO DEL TRABAJO

2.1 Descripción de tareas

2.1.1 Búsqueda y síntesis de la información

Partiendo de la realidad de que los conocimientos previos sobre el tema son escasos, la primera tarea a realizar será la búsqueda de la información. Hay muchos manuales disponibles, pero la importancia de la tarea va a consistir en encontrar la información necesaria y más relevante de entre todos esos manuales. Por lo que cuando se disponga de todo ello se intentará entender el funcionamiento, las prestaciones y el comportamiento de todos los elementos que compongan el sistema de control. De esta manera se facilitará el trabajo y los errores se minimizarán.

2.1.2 Estudio de los equipos

Es imprescindible conocer las características de cada módulo y todas sus conexiones posibles porque recordemos que ofrece muchas posibilidades de conexión. También será importante conocer los consumos máximos de cada uno para poder limitar los consiguientes sistemas de seguridad de una forma eficaz.

2.1.3 Montaje

El siguiente paso consistirá en montar los equipos en un bastidor que facilite la manipulación de estos. Las tarjetas de SIMOTION se anclarán mediante tornillos a la rejilla trasera de forma que quedarán todas las tarjetas en una posición vertical. Los motores también se colocarán mediante bridas a la rejilla para hacer pruebas con ellos antes de montarlos en el prototipo.

2.1.4 Sistemas de seguridad

Siendo conocedores de los consumos y las limitaciones de los aparatos, se instalarán magnetotérmicos adecuados a cada consumo.

2.1.5 Conexiones

Serán necesarios varios tipos de conexiones en el hardware: Por un lado, existen las conexiones de comunicaciones encargadas de compartir la información entre cada módulo, mediante la interfaz propia de Siemens DRIVE-CLiQ. Por otro lado, se encontrarán también los cables de alimentación trifásica y bifásica. Para las señales digitales provenientes de sensores se cablearán cables de colores variados para su fácil identificación. Finalmente, los cables bicolors (amarillos y verdes) serán las tomas de tierra. Para una información más detallada consúltese el Anexo I.

2.1.6 Actualización de los equipos

Lo normal es que la tarjeta contenedora de la licencia y la versión de las máquinas (tarjeta CF) esté desactualizada. Por lo tanto, y como viene siendo común en los productos de Siemens, habrá que actualizar todos los equipos a la misma versión de firmware. Todos los equipos no soportan la misma versión, por ende, la versión final no tendrá por qué ser la más actual de todas sino la más actual posible.

2.1.7 Instalación y configuración del proyecto

Se procederá a la instalación del software SIMOTION Scout. Cuando esté disponible para usar, se empezará con la creación de un proyecto nuevo y su posterior configuración. Hay que tener en cuenta que el hardware real y el configurado deberán de ser iguales. La herramienta Wizard que ofrece el Scout facilita la configuración de los objetos tecnológicos de forma online si establece comunicación PG/PC.

Cuando finalice la configuración, se conectará el PC con el SIMOTION D vía Profinet y se cargará el proyecto en la CPU. Se comprobará que no hay errores.

2.1.8 Comprobación de drives

Una vez se tengan configurados los drives, habrá que comprobar mediante el “panel de control”, si los motores están conectados adecuadamente. Este panel de control nos permitirá el acceso directo a los drives sin necesidad de programar nada. Básicamente, nos da la opción de actuar sobre los motores de forma manual.

2.1.9 Control de ejes

Posteriormente a la configuración de los Drives, se deberán crear los ejes. Estos ejes pueden ser de varios tipos: Eléctricos, hidráulicos o virtuales. Al disponer únicamente de dos motores eléctricos, se deberán de configurar dos ejes lineales eléctricos y uno virtual. Estos tres ejes programados, serán la imagen de los ejes reales. El comportamiento del eje virtual se deberá estudiar mediante la herramienta *System trace*. El código programado para esta tarea deberá de mover el eje a lo largo de toda su longitud, utilizando como referencia o *homing* el centro del eje.

2.1.10 Programación de la aplicación

Tanto ejes virtuales como eléctricos se programan de la misma forma. Se realizarán varios subprogramas debido al sistema de ejecución peculiar que tiene la ingeniería SIMOTION Scout. En general, se programarán figuras de geometría simple como pueden ser cuadrados, elipses y círculos. Se podrán probar y validar con el simulador SIMOSIM antes de cargarlo en el equipo real.

2.1.11 Prototipo

Una vez se tengan los programas, se comenzará con la construcción de la estructura del prototipo. Se colocarán los sensores correspondientes y se conectarán a los conectores de entradas y salidas digitales, y se configurarán en el proyecto.

2.1.12 Comprobación de ejes sobre el prototipo

Antes de realizar la aplicación, habrá que comprobar que todo funciona correctamente. Para ello, se comenzará realizando pruebas de código simple para comprobar que los sensores de posición actúan tal y como deben sobre cada eje. Con código simple se refiere, a un programa que mueva el eje a lo largo de su longitud, comprobando que los sensores funcionan correctamente y que las referenciaciones se encuentran perfectamente configuradas. A continuación, se reproducirá la aplicación a una velocidad reducida al mínimo.

2.2 Descripción del Hardware

Para la realización del presente proyecto, se utilizará un equipo de la marca Siemens, concretamente de la familia SIMOTION. Lo más característico del sistema sería la tarjeta principal que contiene la CPU, en este caso SIMOTION D-425. Esta tarjeta es básicamente la que marcará las prestaciones y limitaciones del sistema. Las demás también tienen su importancia y función, pero teniendo en cuenta que la mayoría de las operaciones lógicas, cálculos, ejecuciones... se llevan a cabo aquí, que la memoria es fija en esta tarjeta, que limita la cantidad de ejes posibles a controlar y que el software del Drive va incluido en esta tarjeta, se considera que la elección de la CPU es clave para el sistema.

El sistema estará compuesto por el siguiente Hardware (véase la *Ilustración 5*):

- *SIMOTION D-425*: es la CPU encargada de almacenar, procesar y ejecutar el código de la aplicación que se le cargará previamente desde un PC. Las características de ésta serán las que definirán la velocidad de respuesta, la capacidad de almacenaje, la versión del sistema y el nivel de trabajo que pueda soportar. Además, limita la cantidad de tarjetas que se le puedan acoplar. Es importante hablar de la ventaja que supone el SIMOTION-D, ya que es *Drive based*, es decir, dentro de la propia tarjeta de la CPU se encuentra lo que sería el equipo "Sinamics s120".
 - *Sinamics S 120 Integrated*: Este equipo (se refiere a él como equipo pues se comporta como tal, aunque sea virtual) integrado será el encargado de convertir las variables digitales de la CPU en órdenes que irán a la tarjeta de los motores. Pero no es del todo cierta la idea de que se encuentre completamente integrada dentro de la primera tarjeta. Concretamente, este sistema en concreto focaliza todas las tareas inteligentes en la primera tarjeta, pero la parte de la electrónica de potencia se acopla posteriormente con un módulo de motor. Se podría decir que su función principal es hacer de puente entre las órdenes de la CPU y las señales que llegan a los accionamientos.

- *Smart Line Module*: La siguiente tarjeta (por orden de colocación) sería la tarjeta de alimentación. Este módulo tiene la función de convertir una corriente trifásica alterna de 230V, en una corriente continua de hasta 600V que se transmitirá a la tarjeta siguiente mediante unas barras. Por ende, en la parte inferior de la tarjeta encontraremos la conexión para la toma de corriente trifásica. Es muy importante destacar que existen principalmente tres tipos de tarjetas de alimentación: Basic Line Module, Active Line Module y Smart Line Module. Esta última opción ha sido la elegida y aunque supone algunas desventajas en lo que a comunicaciones se refiere, tiene una ventaja muy grande en cuanto al consumo, y es que las Smart Line Modules devuelven a la red la energía que no se consume, ayudando así a aumentar la eficiencia de la que se hablaba en los puntos anteriores. Además de los 600V, otra tensión de 24V proveniente del SITOP se transmitirá por unas pequeñas barras a la siguiente tarjeta con la intención de alimentar su electrónica de control.
- *Double Motor Module*: Finalmente las últimas dos tarjetas que se requieren son las tarjetas de los módulos de motor. En este caso, al ser “Double Motor Module”, soportan hasta dos motores cada una. Ya se han explicado de manera concisa anteriormente, pero en estos módulos se encuentra la electrónica encargada de regular la potencia que irá a los motores.
- *Motores síncronos trifásicos con encoder incluido*: La posición y la velocidad serán leídas por el encoder que viene incorporado en el motor. El encoder, es el sensor encargado de dar pulsos en función de las vueltas del eje. De esta forma, sabiendo la relación distancia/vuelta de la rosca, podremos calcular la posición exacta del mismo. Para finalizar, esta vez contaremos con dos motores síncronos iguales.
- *SITOP*: Se necesitará un aparato que adapte la energía de la fuente de tal manera que pueda ser usado por los dispositivos por lo que se instalará el dispositivo SITOP. La función de este módulo será la de convertir la tensión de 230V AC de la línea, en una tensión de 24V DC.
- *PC*: Además de los productos Siemens, necesitaremos un PC con el software SIMOTION Scout instalado (basado en el STEP 7) y la comunicación PG/PC se hará vía Profinet.

- *DRIVE-CLiQ*: Para las comunicaciones se utiliza el interfaz DRIVE-CLiQ, por lo que se usarán buses que soporten este protocolo de comunicación.

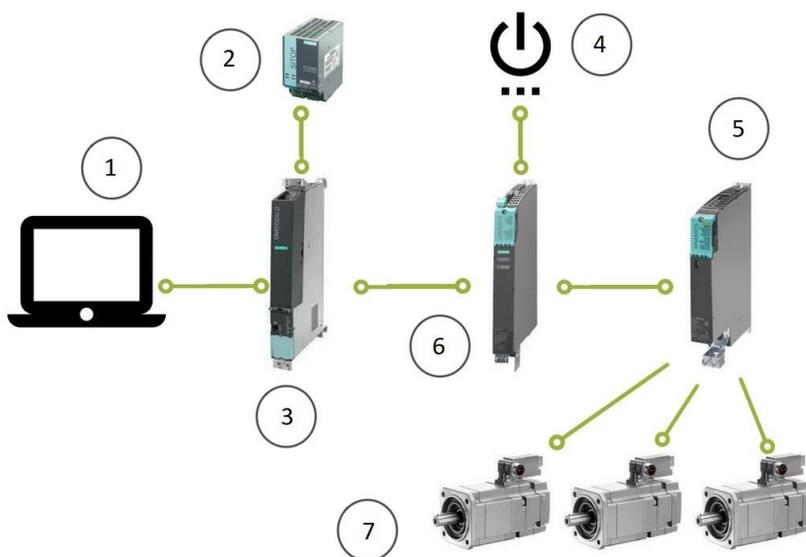


Ilustración 5. Elementos del sistema de control de movimiento

NÚMERO	ELEMENTO
1	PC
2	SITOP
3	SIMOTION D-425
4	Alimentación 3x230V AC
5	2x Double Motor Module (Drives)
6	Smart Line Module
7	Motor eléctrico + Encoder

Tabla 6. Leyenda del Sistema de control

* Las líneas verdes que se muestran en la imagen dan a conocer que existe algún tipo de conexión entre los elementos. No tienen por qué ser iguales. Para conocer las conexiones, véase Anexo I.

2.3 Descripción del Software:

El programa diseñado para soportar estos equipos se llama SIMOTION Scout (*Ilustración 6*) y será más que suficiente para cumplir con los objetivos planificados. Scout, además de permitirnos configurar el sistema y escribir el código, incluye varias herramientas complementarias que facilitan y acortan el tiempo del desarrollo de las aplicaciones:

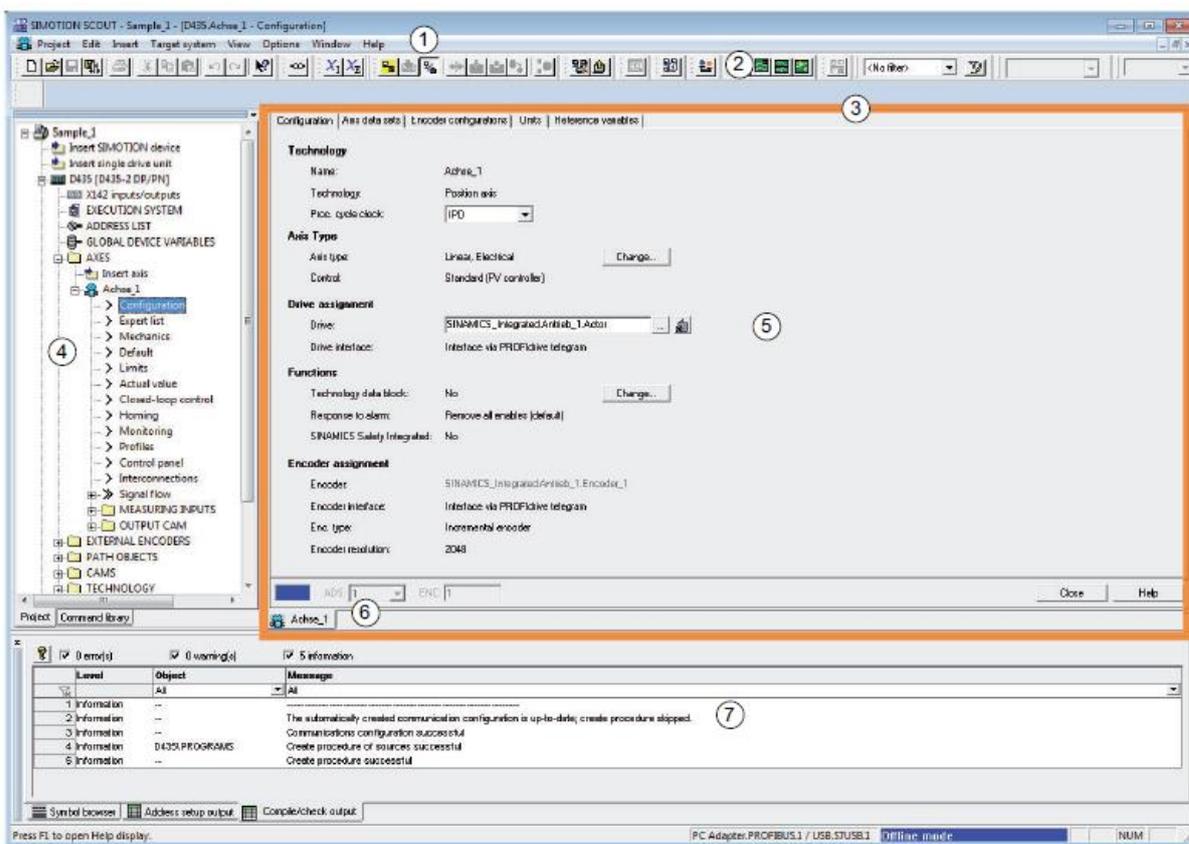


Ilustración 6. Ingeniería SIMOTION Scout

NÚMERO	ELEMENTO
1	Barra de menú
2	Barra de herramientas
3	Área de trabajo
4	Navegador del proyecto
5	Ventanas complementarias
6	Etiqueta de ventana
7	Vista de detalles

Tabla 7. Leyenda de Ingeniería SIMOTION Scout

- System trace*: Permite visualizar a través de diferentes tipos de diagramas y gráficos, el parámetro del Objeto Tecnológico que se precise. En este caso se usará sobre todo para rastrear la velocidad y la posición instantánea de los ejes. Se podrán configurar el tiempo y la frecuencia de rastreo, consiguiendo así, mayor precisión en la lectura de dichos parámetros.
- SIMOSIM*: Es una aplicación de simulación. Básicamente simula la CPU elegida, por lo que nos permitirá cargar y comprobar el código sin la necesidad de disponer del sistema real. Al usarlo junto al System trace, resulta una herramienta muy potente a la hora de facilitar la validación. Es bien sabido que, en los PLC y equipos similares, por mucho que el programa compile y no muestre ningún error, a la hora de cargarlo y hacerlo correr, puede haber problemas de ejecución. De esta manera, con el SIMOSIM, se ahorra mucho tiempo y se minimiza el riesgo de poder estropear equipos de un valor considerable.
- Sistema de ayuda*: El sistema de ayuda online que tiene este programa es muy útil. En el momento que salta un error, ofrece la posibilidad de hacer click en él para de esta forma

comunicar al usuario dónde y por qué han sucedido los errores. A su vez, se muestra una lista de posibles soluciones dependiendo del problema que haya surgido.

Aparte de las herramientas de trabajo, el sistema de ejecución de SIMOTION Scout es algo diferente a lo que se puede encontrar habitualmente, por lo que se describirá el funcionamiento y la estructura de éste.

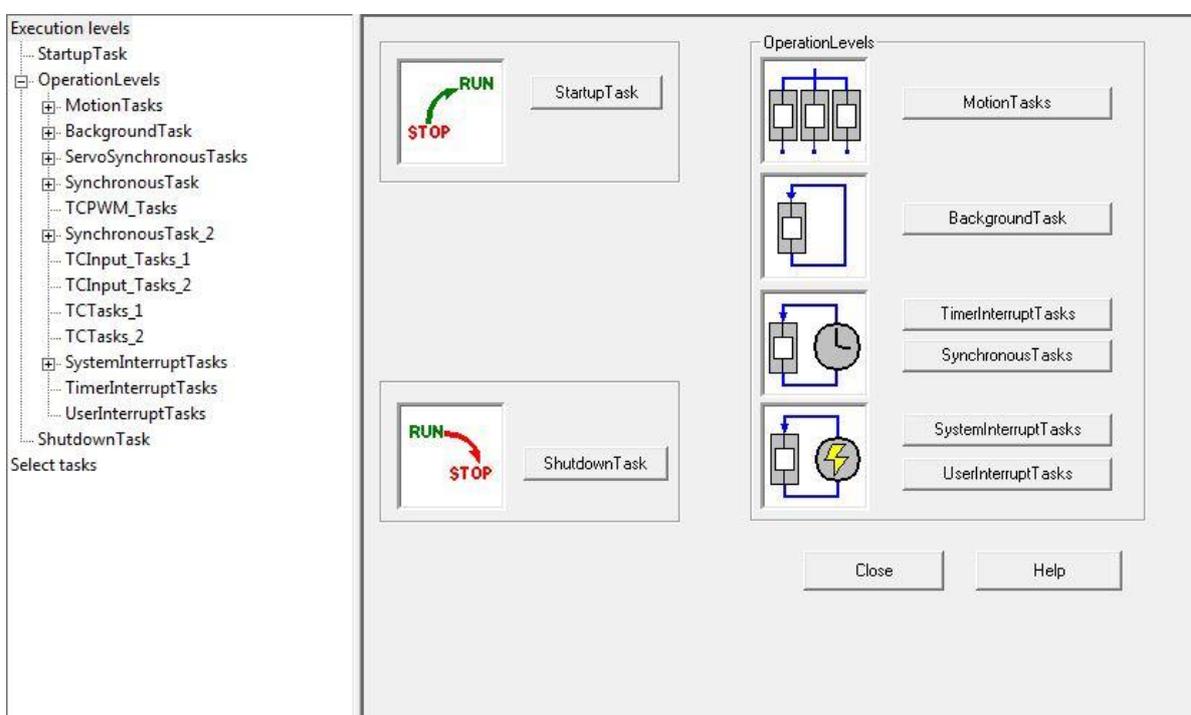


Ilustración 7. Execution System

Tal y como se puede observar en la *Ilustración 7*, Scout plantea una serie de niveles en los que se ejecutarán los programas. Por lo tanto, y en cualquiera de los cuatro lenguajes de programación, se escribirán los programas, bloques de función o funciones por separado. Éstos, se guardarán en la carpeta PROGRAMS a la que se podrá acceder desde el árbol de proyecto. Para poder ejecutarlos se deberán organizar desde el sistema de ejecución, que dependiendo del nivel en el que se incluya actuará de forma diferente. Por lo tanto, se puede tener el mismo programa organizado en varios niveles, actuando de diferentes maneras de forma simultánea.

Aunque los dibujos nos den una idea de cómo funcionan, a continuación, se explicarán detalladamente:

- **Startup Task:** Los programas que se encuentran aquí serán los primeros de entre todos los niveles en ejecutarse. Automáticamente después de haber pasado la CPU del estado de STOP a RUN, se ejecutará una única vez.
- **Motion Tasks:** Este nivel está formado por muchos subniveles a su vez y contendrán las tareas de movimiento que deberá de ejecutar la máquina. Aunque sólo se ejecuten una única vez, se podrán llamar todas las veces necesarias desde otro nivel diferente.
- **Background Tasks:** El *Background Task*, es el nivel donde las tareas se ejecutarán de forma cíclica, es decir, a una determinada frecuencia. Irán ejecutándose los programas que se encuentren en el presente nivel. Resulta idóneo para hacer llamamientos a los *Motion Tasks*, ya que se ejecutará indefinidamente.
- **Timer Interrupt Tasks:** Está pensado para programas que necesiten ser ejecutados en un determinado periodo.
- **Synchronous Tasks:** Se ejecutan de la misma forma que en el nivel anterior, pero esta vez se sincronizarán con un reloj cíclico de sistema específico.
- **System Interrupt Tasks:** Se ejecutarán cuando ocurra algún evento específico del sistema.
- **User Interrupt Tasks:** Se ejecutarán cuando ocurra algún evento específico relacionado con las interacciones del usuario.
- **Shutdown Task:** De forma análoga al *Startup Task*, se ejecutará una única vez justo antes de pasar la CPU del estado de RUN a STOP. Es la última tarea en ejecutarse.

2.4 Descripción del control de ejes

En el hardware los motores se unen al módulo de motor por dos tipos de cables (*Anexo I, Ilustración 12*): El cable de potencia y el DRIVE-CLiQ.

Los cables de potencia tienen como objetivo alimentar de corriente trifásica los tres motores. Sin embargo, los cables DRIVE-CLiQ establecen comunicación entre los motores y el módulo. DRIVE-CLiQ es el interfaz de sistema que utiliza SIEMENS para establecer para establecer comunicaciones entre los equipos que tengan que ver con los *drives*. Se utiliza para cerrar lazos tanto en el caso de los motores con el módulo como en comunicaciones entre diferentes módulos.

Este interfaz supone una gran ventaja respecto a otro tipo de protocolos pues hay ciertas características que lo hacen tan efectivo:

- Solo hace falta un único cable para establecer comunicación entre dos puntos, es decir, se ahorra espacio y dinero pues con un único cable se cumplen todas las funciones necesarias. Se puede conectar a un mismo módulo más de un dispositivo, pero en caso de hacerlo solo podrá haber una única vía posible de comunicación, tal y como se muestra en la *Ilustración 8*.

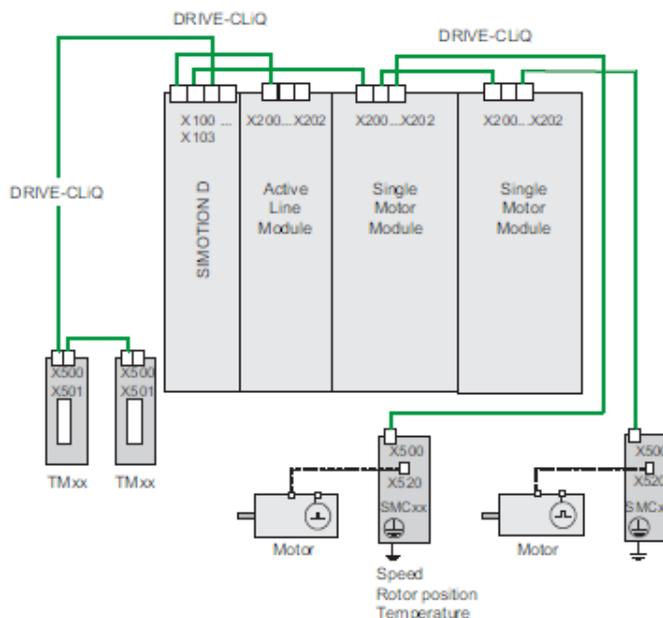


Ilustración 8. Ejemplo de conexiones Drive-CLiQ

- Permite detectar equipos de forma automática, por lo que las configuraciones necesarias serán más fáciles y rápidas.

- Permite conectar equipos de otras marcas, por lo tanto, se podría decir que es compatible con otras marcas

2.5 Aplicaciones

A continuación, se explicarán varios parámetros que se mantendrán constantes en todas las aplicaciones de este proyecto.

El sistema de tres ejes cartesianos se posicionará de forma que el plano formado por los ejes X e Y se sitúe paralelo al suelo y el eje Z se encuentre perpendicular al plano con sentido saliente (*Ilustración 8*). Si se considera como único espacio de acción el octante cuyas tres coordenadas son positivas, se definirá el punto de referencia como aquel punto que se encuentre a la misma distancia respecto al centro de todos los ejes, siendo el origen la intersección de los tres ejes.

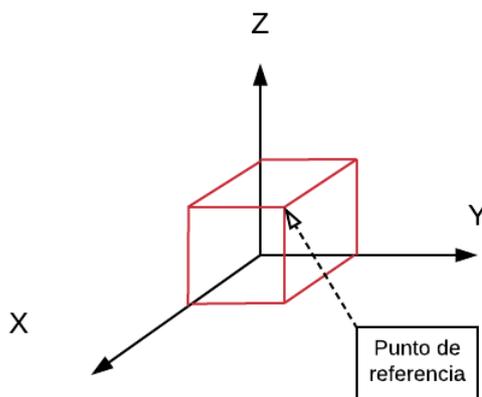


Ilustración 9. Sistema de tres ejes cartesianos

Cada eje constará de tres sensores inductivos. Dos de ellos limitarán el recorrido del eje, es decir, definirán la distancia que el eje bajo ningún concepto debería alcanzar. El tercer sensor, servirá de referencia y se colocará en el centro del eje.

A cada sensor, se le asignará un pin de las 12 E/S digitales (X122 y X132) disponibles. En orden, se conectará cada conjunto de tres sensores a cada pin, siendo los dos primeros los sensores de fin de recorrido y el tercero el de referencia. Por lo tanto, empezando desde el pin X122.0 hasta el pin

X132.2 (X122.7 y X122.8 están reservados) se completarán las conexiones. Como ejemplo de conexión del eje X véase la *Tabla 8*.

Sensor	E/S Digital
Sensor fin de carrera 1	X122.0
Sensor fin de carrera 2	X122.1
Sensor de referencia	X122.2

Tabla 8. Conexión de sensores del eje X

Ya se ha comentado anteriormente el objetivo de ejecutar recorridos de geometría simple, y estas figuras se elegirán mediante un interfaz de usuario que permitirá elegir la figura con su respectivo origen y tamaño. Los recorridos a elegir serán el cuadrado, el triángulo equilátero y el círculo.

Todas las aplicaciones deberán de estar programadas de tal manera que nunca se pueda superar el espacio limitado por los sensores de fin de carrera. En caso de que en algún momento se llegue a tal extremo, el cabezal deberá de dirigirse a la posición de *homing*.

2.5.1 Diagrama de flujo

En este apartado se explicará mediante un diagrama de flujo el funcionamiento del código que deberán seguir todas las aplicaciones. Se considera importante destacar, que, en el bloque de cálculos y movimientos, cada aplicación tendrá un algoritmo diferente, y por ello se expondrán con más exactitud en los siguientes apartados.

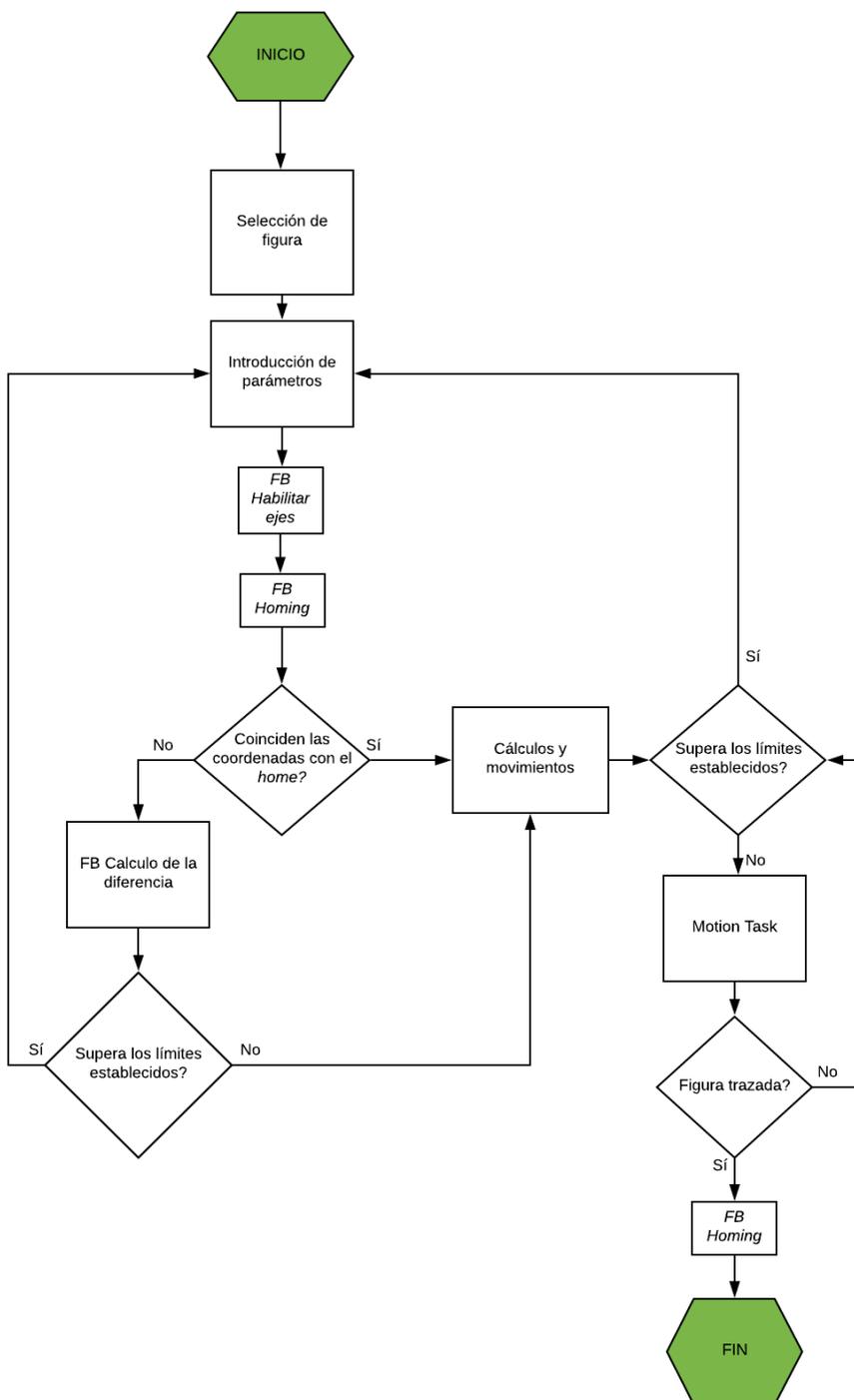


Ilustración 10. Diagrama de flujo del trazado general

Además, el FB Cálculo de la diferencia cumplirá el siguiente algoritmo:

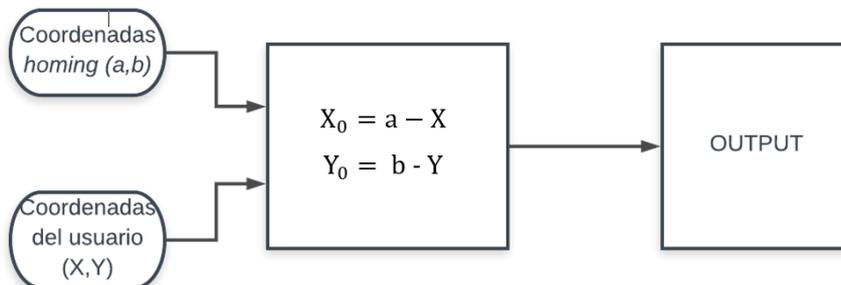


Ilustración 11. Algoritmo de cálculo de la diferencia

2.5.2 Cuadrado

Los parámetros necesarios provenientes del usuario serán dos en el caso del cuadrado: La longitud del lado y las coordenadas X e Y del primer ángulo recto. Se ha impuesto la condición de que el primer movimiento de la trazada siempre será paralelo al eje X, es decir, no se podrá rotar la orientación del cuadrado. Con estos datos el prototipo deberá de actuar de la siguiente forma: Comenzará con el *homing*, es decir, el cabezal deberá de dirigirse al punto de referencia mostrado en la *Ilustración 8*. Una vez se encuentre aquí deberá de dirigirse a las coordenadas introducidas por el usuario y comenzar el recorrido. Para ello, en el primer movimiento el cabezal se dirigirá desde la coordenada de entrada, en dirección del eje Z, hasta que quede a la altura del plano XY. Alcanzado este punto, y tal y como se muestra en la *Ilustración 9*, comenzará a trazarse el cuadrado.

Primero el eje X avanzará (1) hasta completar una distancia igual al lado del cuadrado (parámetro de entrada del usuario) e inmediatamente después de que este termine el eje Y repetirá el mismo movimiento (2). A continuación, ambos ejes volverán en el mismo orden a la posición inicial, primero el eje X (3) y seguido el eje Y (4). Una vez finalizada la figura, todos los ejes se situarán en el punto de *homing* (marcado con un círculo rojo).

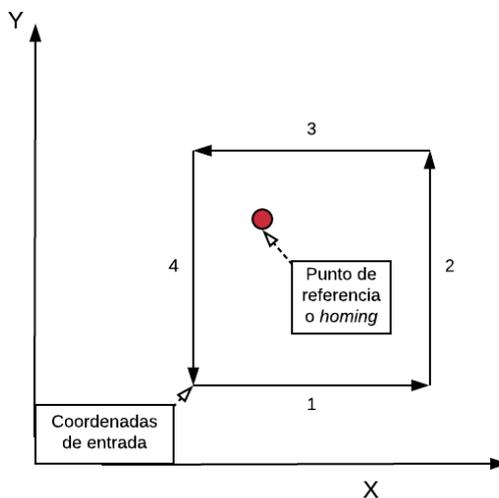


Ilustración 12. Trazado de un cuadrado

Respecto al código, la orden de ejecución del cuadrado tendrá su origen en un *Main*, es decir, un programa en lenguaje ST que hará de selector de figuras. Desde este programa se harán las llamadas a los subprogramas que contendrán las figuras, por lo que en el sistema de ejecución se ejecutará en el *background*.

Para el trazado del cuadrado serán necesarios varios archivos en diferentes lenguajes de programación. En este caso, se necesitarán cuatro archivos aparte del *Main*. Se puede realizar todo con el mismo lenguaje, pero el lenguaje gráfico MCC es muy recomendable para las tareas que requieran de habilitar ejes y hacer llamadas de movimientos. Por lo tanto, dos de los archivos consistirán en dos gráficos diferentes en MCC: uno encargado de habilitar los tres ejes y otro encargado de llamar la tarea de movimiento. A este último gráfico hará el llamamiento el *Main* y es por ello por lo que los dos archivos MCC se ejecutarán en el nivel *Background Task* del sistema de ejecución.

El tercer archivo consistirá en un programa en ST que realizará todos los movimientos una única vez, es por eso por lo que se ejecutará en el nivel de *Motion Task*. Por último, el cuarto archivo será un FB que contendrá el *homing*, también en ST (*Background Task*) será tanto el primer como el último movimiento de la tarea. Para una información más detallada sobre el código consúltese *Anexo III: Diagramas de flujo*.

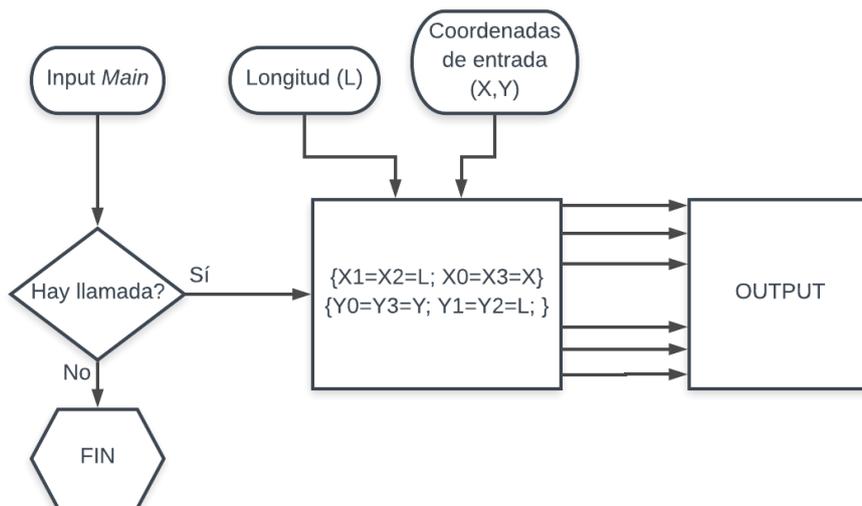


Ilustración 13. Algoritmo del Cuadrado

2.5.3 Triángulo equilátero

De la misma forma que con el cuadrado, en el triángulo se introducirán las coordenadas de el primer ángulo y la longitud. También se impondrá la condición del primer movimiento de la trazada del triángulo tenga que ser paralela al eje X. El punto de partida del cuadrado y del triángulo son prácticamente iguales, es decir, los movimientos a realizar hasta alcanzar las coordenadas de entrada son idénticos.

En cuanto a la trazada del triángulo (*Ilustración 10*), se comenzará con el eje X (1), posteriormente tras realizarse unos cálculos internos, se deberán de coordinar los dos ejes X e Y para que formen una rampa negativa (2) con ángulo de 60°. A continuación, se procederá a nuevos cálculos y a la

trazada de una rampa positiva (3) de mismo ángulo hasta llegar a la posición inicial. Para finalizar, de manera idéntica al cuadrado, los tres ejes volverán a la posición de referencia.

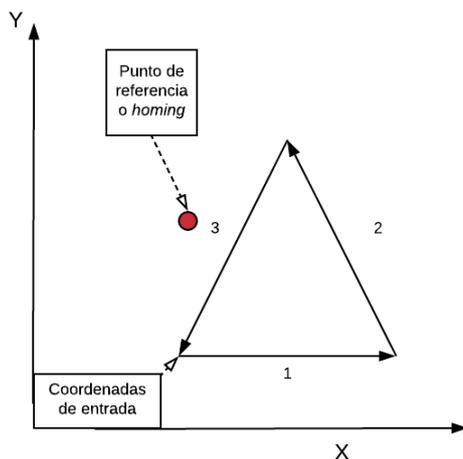


Ilustración 14. Trazado de un triángulo equilátero

Respecto al código, se llamarán a los programas que se utilizan en el punto anterior para habilitar ejes y realizar el *homing* además del propio *Main*. El subprograma que contendrá el trazado del triángulo estará escrito en ST y se ejecutará en *Motion Task*. A diferencia del subprograma anterior, el triángulo necesitará dos FB más, uno se encargará de realizar los cálculos de la distancia a recorrer por cada eje en el movimiento 2 y el otro en el movimiento 3, para que la resultante de ambas en cada caso sea de la longitud indicada y en la dirección correcta.

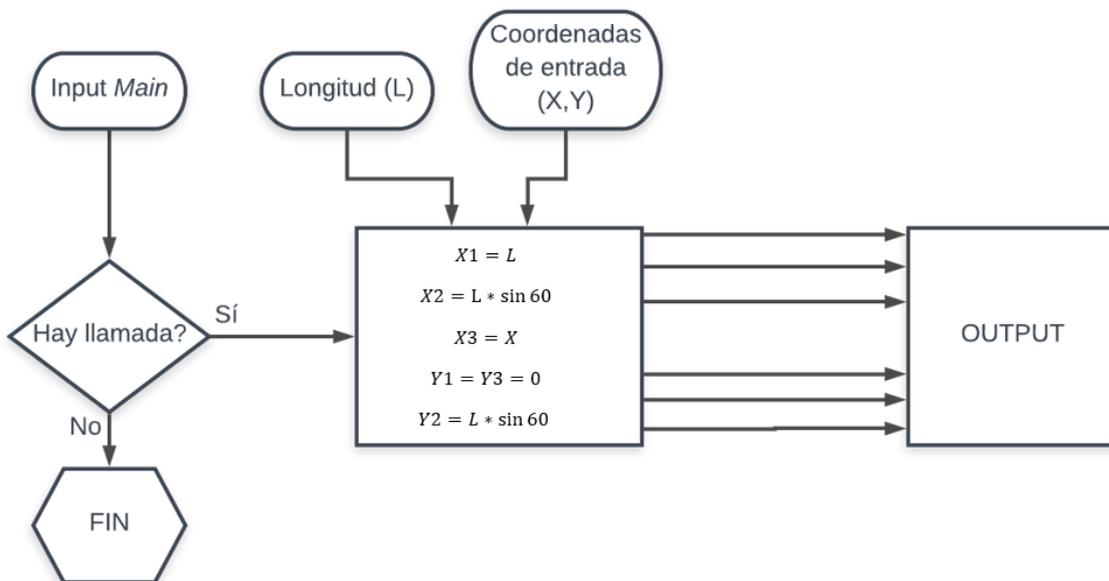


Ilustración 15. Algoritmo del código del triángulo equilátero

2.5.4 Círculo

En el caso del círculo, el usuario deberá de introducir las coordenadas del centro, la longitud del radio y el número de puntos a calcular (cuantos más se calculen más exacto será el círculo). Si se toma una línea imaginaria paralela al eje X que incluya el centro del círculo, esta cortará el perímetro de la figura en dos puntos. Se impondrá como condición empezar por el punto de corte más lejano al origen del sistema de ejes cartesianos (*Ilustración 11*). Una vez más, los movimientos a realizar antes del trazado del círculo serán idénticos a los expuestos en los apartados anteriores.

Para realizar el trazado de un círculo será necesario coordinar los ejes X e Y desde el principio. Para ello, se deberán calcular el número de puntos introducidos por el usuario. Por lo que será necesario un FB que calcule los puntos de los ejes X e Y. aparte de este FB, se utilizarán los programas ya mencionados previamente que son necesarios para todas las aplicaciones. Obviamente, habrá un subprograma contenedor del trazado del círculo

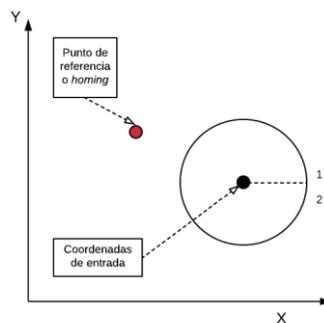


Ilustración 16. Trazado de un círculo

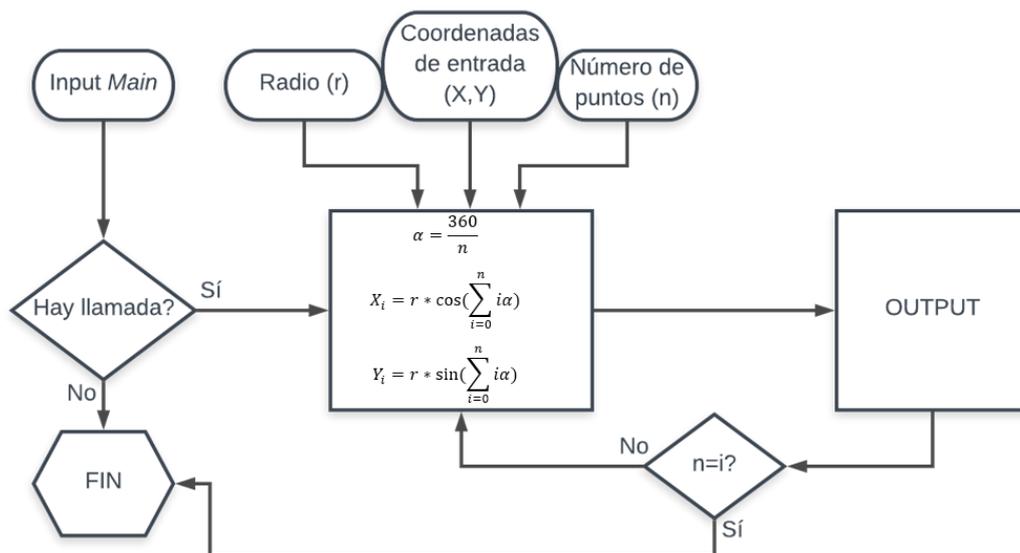


Ilustración 17. Algoritmo del código del círculo

2.6 Diagrama de Gantt/cronograma

El diagrama de Gantt nos permite visualizar el transcurso de todas las tareas y su tiempo de duración de una manera esquemática. Además, se puede apreciar la relación que existe entre ellas.

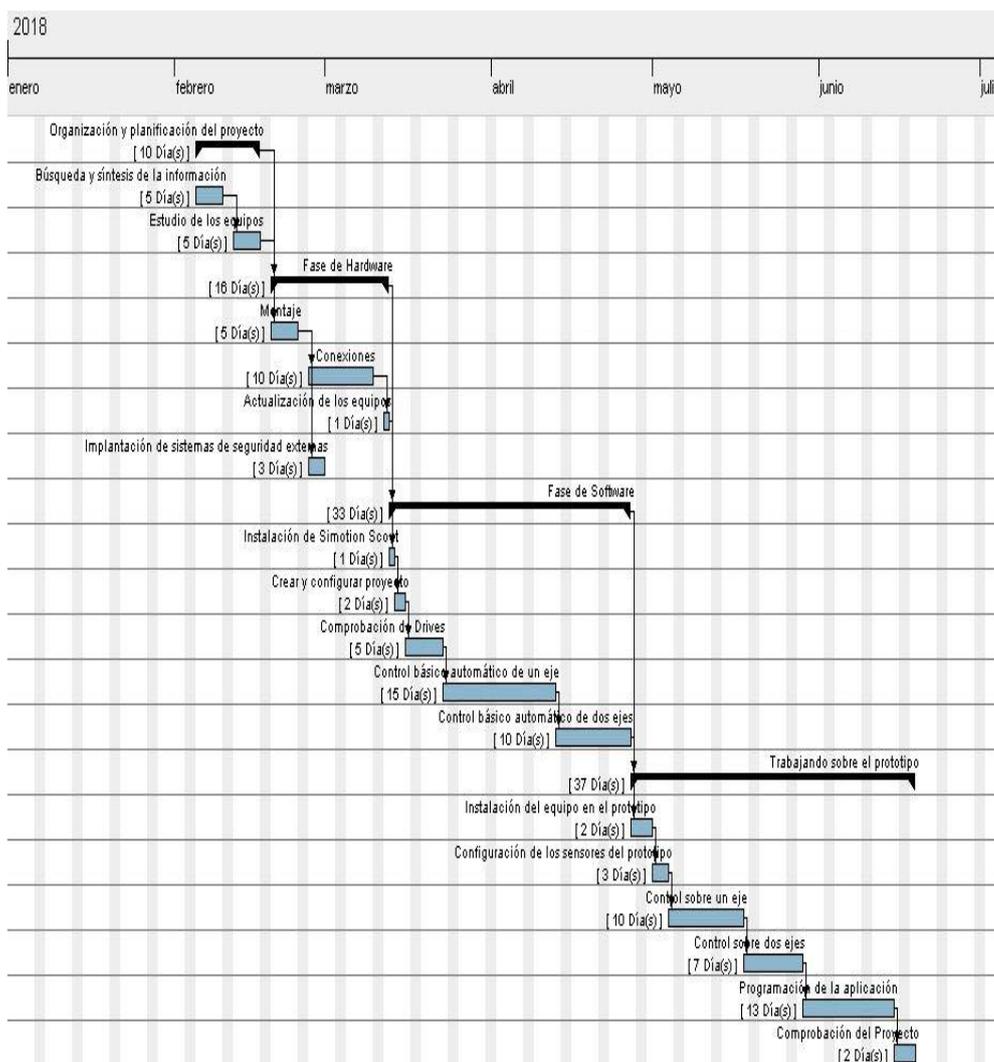


Tabla 9. Diagrama de Gantt

Nombre	Fecha de inicio	Fecha de fin	Duración
♀ • Organización y planificación del proyecto	5/02/18	16/02/18	10
• Búsqueda y síntesis de la información	5/02/18	9/02/18	5
• Estudio de los equipos	12/02/18	16/02/18	5
♀ • Fase de Hardware	19/02/18	12/03/18	16
• Montaje	19/02/18	23/02/18	5
• Conexiones	26/02/18	9/03/18	10
• Actualización de los equipos	12/03/18	12/03/18	1
• Implantación de sistemas de segurid...	26/02/18	28/02/18	3
♀ • Fase de Software	13/03/18	26/04/18	33
• Instalación de Simotion Scout	13/03/18	13/03/18	1
• Crear y configurar proyecto	14/03/18	15/03/18	2
• Comprobación de Drives	16/03/18	22/03/18	5
• Control básico automático de un eje	23/03/18	12/04/18	15
• Control básico automático de dos ejes	13/04/18	26/04/18	10
♀ • Trabajando sobre el prototipo	27/04/18	18/06/18	37
• Instalación del equipo en el prototipo	27/04/18	30/04/18	2
• Configuración de los sensores del pr...	1/05/18	3/05/18	3
• Control sobre un eje	4/05/18	17/05/18	10
• Control sobre dos ejes	18/05/18	28/05/18	7
• Programación de la aplicación	29/05/18	14/06/18	13
• Comprobación del Proyecto	15/06/18	18/06/18	2

Tabla 10. Leyenda del Diagrama de Gantt

3 PRESUPUESTO

La inversión inicial para el proyecto será en su mayoría en Recursos Humanos por el hecho de que será la primera toma de contacto con el sistema y apenas se amortizarán los equipos.

A continuación, se expondrá el presupuesto general clasificado por cada tipo de coste.

Presupuesto	Coste total (€)	Porcentaje (%)
Recursos Humanos	8100	90,11
Amortizaciones	22,07	0,25
Otros Gastos	50	0,56
Costes Indirectos	817,21	9,09
TOTAL	8989,28	100

Tabla 11. Presupuesto general

3.1 Recursos Humanos

A continuación, se contemplarán las horas y el coste por hora de cada persona que trabaje en el proyecto dependiendo de su labor. De todas formas, al ser prácticamente un proyecto individual, sólo se contabilizarán las horas de ingeniería.

Recursos humanos	Coste (€) /h	Horas totales	Coste Total (€)
Ingeniería	45	180	8100
		TOTAL	8100

Tabla 12. Presupuesto Recursos Humanos

3.2 Amortizaciones

Al utilizar muchos productos con larga vida útil, se estudiarán las amortizaciones tanto del Software como del Hardware.

Amortizaciones	Coste Unitario (€)	Horas Utilizadas	Vida útil (h)	Coste Total (€)
SIMOTION D-425	6000	170	345600	2,95
Smart Line Module	6000	170	345600	2,95
Double Motor Module x2	12000	170	345600	5,90
Ordenador	900	170	35000	4,37
SITOP	150	170	345600	0,07
Software	3000	170	87600	5,82
			TOTAL	22,07

Tabla 13. Amortizaciones

Es importante destacar que algunos de los productos mencionados en la Tabla 11, tienen una vida útil difícil de calcular. Las tarjetas pueden durar prácticamente 40 años, así como la fuente SITOP, y no porque se hayan estropeado, sino por el hecho de quedarse obsoletas. Del mismo modo, la estructura del prototipo, en caso de que se use correctamente, seguirá funcionando hasta que rompa. Es por ello por lo que se ha seleccionado un valor aproximado de 40 años equivalente a 345600 horas.

3.3 Otros gastos

En este apartado se contabilizarán el material de oficina, fotocopias y demás necesidades.

Otros Gastos	Coste total (€)
Material de Oficina	10
Impresión de manuales	40
TOTAL	50

Tabla 14. Presupuesto de otros gastos

3.4 Costes indirectos

Dentro de los Costes indirectos se incluyen todos los gastos necesarios que no influyen en el proyecto de forma directa como pueden ser la electricidad, servicio de mantenimiento, etc. Se contabilizarán como el 10% de la suma de todos los costes anteriores.

Costes Indirectos	Suma total	Porcentaje (%)	Coste Total (€)
TOTAL	8172,07	10	817,21

Tabla 15. Presupuesto de costes indirectos

4 CONCLUSIONES

La realización de este proyecto permite conocer, investigar y avanzar con una posible solución que muchas de las empresas actuales han implantado o están implantando en sus propias fábricas. Tal y como se ha comentado previamente, los sistemas de control de movimiento en una estructura de tres ejes cartesianos, es una de las configuraciones más frecuentes debido a la amplia variedad de movimientos que permite. Por lo tanto, gracias a este trabajo, se adquirirán valiosos conocimientos que permitirán tener una visión global de las aplicaciones que mayormente se utilizan en los procesos industriales, ya que la mayoría de ellas, se basan en este tipo de estructuras.

Es importante destacar que el sistema de ingeniería SIMOTION SCOUT se puede utilizar en todos los productos inteligentes destinados al control de movimiento de SIEMENS. Es por ello que, aunque se trabaje con equipos específicos, el control y la programación será parecida, por no decir igual, en todos los demás aparatos que forman la familia SIMOTION. Además, el código se escribirá combinando dos lenguajes diferentes con la característica de que será orientada a objetos, por lo que la experiencia conseguida aquí, será de utilidad en equipos distintos de otras marcas, e incluso en aparatos con distinta funcionalidad.

Por otro lado, el hecho de trabajar con motores eléctricos síncronos resulta ser una ventaja enorme. Aparte de que se puedan controlar prácticamente de forma absoluta, su poca inercia y sus altas velocidades permiten realizar cambios de dirección muy bruscos. De esta forma, se podrán obtener precisiones milimétricas a velocidades previamente inconcebibles, siendo reflejo de un gran avance.

Finalmente, en este trabajo se sienta una base sólida que facilitará el desarrollo de proyectos futuros en los que se podrá expresar al máximo las prestaciones y utilidades del sistema.

5 BIBLIOGRAFÍA

1. Siemens AG. (2010). *SIMOTION MCC Motion Control Chart*. Recuperado de <https://support.industry.siemens.com/cs/document/51794607/simotion-mcc-motion-control-chart?lc=en-US>
2. Siemens AG. (2010). *SIMOTION ST Structured Text*. Recuperado de <https://support.industry.siemens.com/cs/document/51786311/simotion-st-structured-text?dti=0&lc=en-US>
3. Siemens AG. (2010). *SIMOTION SCOUT Basic functions*. Recuperado de <https://support.industry.siemens.com/cs/document/51786364/simotion-scout-basic-functions?dti=0&lc=en-US>
4. Siemens AG. (2016). *SIMOTION SIMOTION SCOUT Getting Started SIMOTION SCOUT - sample project SIMOTION D435-2*. Recuperado de <https://support.industry.siemens.com/cs/document/109744593/simotion-simotion-scout-getting-started-simotion-scout-sample-project-simotion-d435-2?dti=0&lc=en-US>
5. Siemens AG. (2018). *SIMOTION D4x5-2, Commissioning and Hardware Installation Manual*. Recuperado de <https://support.industry.siemens.com/cs/document/109757329/simotion-d4x5-2-commissioning-and-hardware-installation-manual?dti=0&lc=en-US>
6. Siemens AG. (2018). *SIMOTION D4x5-2, Manual*. Recuperado de <https://support.industry.siemens.com/cs/document/109757331/simotion-d4x5-2-manual?dti=0&lc=en-US>

7. Siemens AG. (2018). *SIMOTION SCOUT*. Recuperado de <https://support.industry.siemens.com/cs/document/109757309/simotion-scout?dti=0&lc=en-US>
8. Siemens AG. (2014). *DRIVE-CLiQ, The open encoder interface for the SINAMICS drives family*. Recuperado de https://www.industry.usa.siemens.com/drives/us/en/electric-drives/ac-drives/high-performance-and-servo-drives/drive-cliq-motor-drive-integration-system/Documents/DRV-Drive_CLiQ_Brochure.pdf
9. Beckhoff. (2012). *AX5000 System properties*. Recuperado de <https://beckhoff.com/>
10. infoPLC. (2011). *Mapping Simotion D Inputs From Sinamics drive*. Recuperado de <http://www.infopl.net/descargas/160-siemens/motion-control/1156-mapeado-de-entradas-de-simotion-d-sinamics-drive-ingles>

6. ANEXOS

6.1 ANEXO I: Conexiones del hardware

A continuación, se explican las conexiones del hardware que se han llevado a cabo después del montaje. En el diagrama, aparecen de forma gráfica y clasificados por colores todas las conexiones existentes entre los equipos.

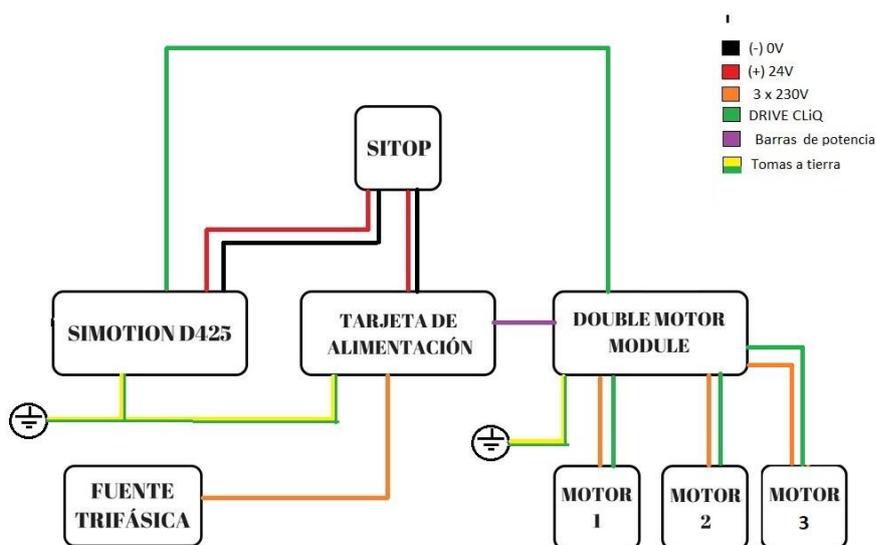


Ilustración 18. Conexiones del Hardware

Las conexiones no son todas iguales, ya que cada una tiene su funcionalidad:

- Conexiones de comunicación: De color verde, se observan las tres conexiones DRIVE-CLiQ de todo el sistema. Una conectará el punto X100 de la CPU y el punto X200 del módulo de motores. Las otras dos conectarán los motores con el *Double Motor Module* para recibir el feedback de los motores por los puertos X202 (para el motor 1) y X203 (para el motor 2).
- Aunque no aparezca en el diagrama, en caso de necesitar conectar el PC a la CPU para cargar nuevos programas, se usará la entrada Profinet X130 o X120.

- Conexiones de alimentación monofásica: Mediante el SITOP se alimentará tanto la CPU como la tarjeta de alimentación. El SIMOTION D425 se verá alimentado por el nodo X124, y la tarjeta de alimentación a su vez, por el nodo X24. Se han dibujado estos cables de rojo y negro.
- Conexiones de alimentación trifásica: La única tarjeta conectada directamente a la red trifásica será la tarjeta de alimentación. Se recibirá la alimentación por el nodo X1. Por otra parte, para poder alimentar los motores, se conectarán a la tarjeta de los módulos por el punto X1 de la propia tarjeta. No confundir los nodos, aunque se llamen igual, ya que cada tarjeta tiene la suya propia.
- Tomas a tierra: Todas las tarjetas tienen su tierra, pero las conexiones a tierra se dividirán en dos. Las correspondientes a 24V se conectarán a una y el resto de las tensiones superiores a la otra.
- Las barras de potencia transmiten las tensiones de 24V y las de 600V a la tarjeta de los módulos de motor.

6.2 ANEXO II: Rúbricas de evaluación

En todas las tablas de evaluación se utilizará el mismo sistema. En estas tablas se le dan valores del 1 al 10 a cada característica de cada columna a criterio propio, siendo el 1 el número más desfavorable y el 10 el más favorable.

En cuanto a la evaluación del producto, se ha decidido priorizar las siguientes cuatro características:

- **Prestaciones:** Las prestaciones son un punto fuerte para tener en cuenta, porque, al fin y al cabo, éstas son las que nos marcarán el potencial del sistema. Es importante resaltar que, aunque un equipo tenga grandes prestaciones no siempre saldrá rentable, ya que se deberá adecuar a nuestro sistema. Todo dependerá de la aplicación que se quiera llevar a cabo.
- **Facilidad de uso:** Desde el punto de vista académico, teniendo en cuenta que los conocimientos previos son escasos, es un punto muy importante. En realidad, se trata de un proyecto que abarca muchos temas diferentes, por lo que si se consiguen simplificar algunos de ellos la curva de evolución del alumno será mayor.
- **Coste:** La inversión que se tenga que hacer es de vital importancia.
- **Apoyo:** Con apoyo se refiere a la documentación que exista sobre el tema, es decir, toda la información y ayuda externa que pueda existir. Resultará un factor muy importante en caso de quedarse estancados en algún punto del proyecto.

En la evaluación de riesgos, se ha optado por los riesgos más probables y los más graves. También se les ha planteado una solución a los más importantes o a los que más problemas pueden causar.

La suma de todas las características se comparará con el resto de los productos. Este dato servirá como referencia a la hora de elegir la alternativa más adecuada.