

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA



INFORME FINAL DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR, MODALIDAD
DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

TEMA:

**“SISTEMA MODULAR DIDÁCTICO PARA PRÁCTICAS DE CONTROL
DE SERVOMOTORES AC”**

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: Automatización Industrial.

AUTOR: Cristopher Sebastián Arévalo Cevallos

DIRECTOR: Ing. Cosme Damián Mejía Echeverría, MSc.

Ibarra – octubre – 2023



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	0450232145		
APellidos y Nombres:	Arévalo Cevallos Christopher Sebastián		
DIRECCIÓN:	San Lorenzo y Gómez Jurado		
EMAIL:	csarevalocl@utn.edu.ec		
TELÉFONO FIJO:	2236830	TELÉFONO MÓVIL:	0996141375

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	Sistema modular didáctico para prácticas de control de servomotores AC
AUTOR (ES):	Christopher Sebastián Arévalo Cevallos
FECHA: DD/MM/AAAA	17/10/2023
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
PROGRAMA:	<input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniero en Mecatrónica
ASESOR /DIRECTOR:	Ing. Cosme Damián Mejía Echeverría, MSc.

2. CONSTANCIAS

El autor (es) manifiesta (n) que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto la obra es original y que es (son) el (los) titular (es) de los derechos patrimoniales, por lo que asume (n) la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá (n) en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 17 días del mes de octubre de 2023

EL AUTOR:

(Firma).....
Nombre: Christopher Arévalo

CERTIFICACIÓN DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Ibarra, 17 de octubre de 2023

Ing. Cosme Damián Mejía Echeverría, MSc.

DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR


CERTIFICA:

Haber revisado el presente informe final del trabajo de titulación, el mismo que se ajusta a las normas vigentes de la Unidad Académica de la Universidad Técnica del Norte; en consecuencia, autorizo su presentación para los fines legales pertinentes.

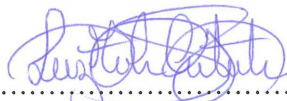

(f)
Ing. Cosme Damián Mejía Echeverría, MSc.
C.C.: 1002641288

APROBACIÓN DEL COMITÉ CALIFICADOR

El Tribunal Examinador del trabajo de titulación “SISTEMA MODULAR DIDÁCTICO PARA PRÁCTICAS DE CONTROL DE SERVOMOTORES AC” elaborado por Christopher Sebastián Arévalo Cevallos, previo a la obtención del título del Ingeniero en Mecatrónica, aprueba el presente informe de investigación en nombre de la Universidad Técnica del Norte:



(f):.....
Ing. Cosme Damián Mejía Echeverría, MSc.
C.C.: 1002641288



(f):.....
Ing. Luz María Tobar Subía Contento, MSc.
C.C.: 1002444204

DEDICATORIA

A mis amados hermanitos, Cassiel, Daniela y Josué. Los sueños se cumplen, sigamos luchando.

Cristopher

AGRADECIMIENTO

A mi familia, los pilares de mi vida: mi abuela María del Carmen (+) y mi madre, Yadira Romo, quienes con cariño e incansablemente supieron protegerme y educarme.

A Yolita Martínez y su familia, por apoyarme en mi etapa universitaria y acogerme en su hogar.

A los Ingenieros Cosme Mejía y Luz María Tobar, por su tutoría en el desarrollo de este trabajo de titulación.

A mis profesores, amigos y compañeros.

Con mi vida, gracias.

Cristopher

Resumen

En el presente trabajo de titulación desarrolla un sistema modular didáctico para prácticas de laboratorio de control de posición y velocidad de servomotores AC. En el cual se propone una arquitectura basada en un sistema de control HMI-PLC, para gestionar los servosistemas GSK DA98D y consecuentemente los motores síncronos 110 SJT. Dentro de un contexto postpandemia, se diseña con un enfoque de “Laboratorio remoto”, por esto, se incluye en la arquitectura un sistema de transmisión de video en vivo multiplataformas desarrollado con el software OBS. La configuración del HMI virtual permite la ejecución de ejercicios específicos estructurados para el sistema modular didáctico. Además, dota de versatilidad a las experimentaciones al permitir el uso de diferentes escalas y sistemas de referencia y facilita la interacción del estudiante con el sistema de control al brindar un seguimiento del proceso a través de gráficas y simulaciones. El sistema mecánico diseñado cuenta con piezas y partes desmontables e intercambiables que proveen de la característica de modularidad al sistema didáctico, con ello se han logrado ejecutar funciones básicas con los servomotores como el posicionamiento angular y lineal de manera precisa. Las prácticas de laboratorio estructuradas y ejecutadas en el sistema modular didáctico han permitido a estudiantes el aprendizaje de conexiones eléctricas, programación, seguimiento de procesos a través de un HMI y aplicaciones industriales básicas de servomotores AC.

Abstract

In this degree work, a modular didactic system is developed for laboratory practices of position and speed control of AC servomotors. In which an architecture based on an HMI-PLC control system is proposed to manage the GSK DA98D servosystems and consequently the 110 SJT synchronous motors. Within a post-pandemic context, it is designed with a “Remote Laboratory” approach, for this reason, a multi-platform live video transmission system developed with OBS software is included in the architecture. The configuration of the virtual HMI allows the execution of specific exercises structured for the modular teaching system. In addition, it provides versatility to the experiments by allowing the use of different scales and reference systems and facilitates the student's interaction with the control system by providing monitoring of the process through graphs and simulations. The designed mechanical system has removable and interchangeable pieces and parts that provide the characteristic of modularity to the teaching system, with this it has been possible to execute basic functions with the servomotors such as angular and linear positioning in a precise manner. The laboratory practices structured and executed in the modular didactic system have allowed students to learn electrical connections, programming, process monitoring through an HMI and basic industrial applications of AC servomotors.

Índice General

Resumen	vii
Abstract	viii
Índice General	ix
Índice de Tablas	xi
Índice de Figuras	xiii
Aspectos Generales.....	1
Problema	1
Objetivos	2
<i>Objetivo General</i>	2
<i>Objetivos Específicos</i>	2
Alcance	2
Justificación	3
CAPÍTULO I	5
1. MARCO TEÓRICO Y REFERENCIAL	5
1.1. Marco Teórico	5
<i>1.1.1. Motor síncrono de imanes permanentes</i>	5
<i>1.1.2. Servomotores AC</i>	9
<i>1.1.3. Laboratorios híbridos</i>	12
1.2. Marco Referencial	19
<i>1.2.1. Sistemas de control de PMSM</i>	19
<i>1.2.2. Arquitecturas de laboratorios remotos</i>	20
<i>1.2.3. Laboratorios remotos en la región</i>	23
<i>1.2.4. Resultados pedagógicos</i>	24
CAPÍTULO II	27
2. MARCO METODOLÓGICO	27
2.1. Objetivo específico 1 (fase 1):	27
2.2. Objetivo específico 2 (fase 2):	27
2.3. Objetivo específico 3 (fase 3):	29
2.4. Objetivo específico 4 (fase 4):	29
CAPÍTULO III	31
3. RESULTADOS	31
3.1. Fase 0 de diseño: Aplicación de TRIZ para especificar el problema:	31
<i>3.1.1. Análisis del sistema técnico (problema):</i>	31

3.1.2.	<i>Declaración de la contradicción técnica:</i>	31
3.1.3.	<i>Diseño de estrategia basada en principios de inventiva.</i>	35
3.1.4.	<i>Refinar los principios de solución con una alternativa de diseño.</i>	37
3.2.	Fase 1 de Diseño: Definición de la alternativa de solución conceptual:	38
3.2.1.	<i>Despliegue de la función de calidad de la solución conceptual.</i>	39
3.3.	Fase 2 de Diseño: Nivel de sistema:	41
3.4.	Fase 3 de Diseño: Nivel de detalle:	42
3.4.1.	<i>Subsistema de control</i>	42
3.4.2.	<i>Subsistema eléctrico</i>	43
3.4.3.	<i>Subsistema mecánico</i>	44
3.5.	Fase 0 de Manufactura. Planeación:	45
3.5.1.	<i>Identificar restricciones de producción</i>	45
3.6.	Fase 1 de Manufactura. Desarrollo del concepto:	46
3.6.1.	<i>Manufactura aditiva</i>	46
3.7.	Fase 2 de Manufactura. Selección de materiales y procesos:	47
3.8.	Fase 3 de Manufactura. Ensamblaje e implementación:	48
3.8.1.	<i>Definir esquema de ensamblaje</i>	48
3.9.	Pruebas.	50
3.9.1.	<i>Práctica de laboratorio 1: Control de posición y velocidad angular de servomotores.</i>	50
3.9.2.	<i>Práctica de laboratorio 2: Seguimiento solar a dos ejes.</i>	53
3.10.	Análisis de resultados.	59
3.10.1.	<i>Pregunta 1.</i>	59
3.10.2.	<i>Pregunta 2.</i>	59
3.10.3.	<i>Pregunta 3.</i>	59
3.10.4.	<i>Pregunta 4.</i>	59
3.10.5.	<i>Pregunta 5.</i>	59
CAPÍTULO IV		60
4.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	60
4.1.	Conclusiones	60
4.2.	Recomendaciones	60
Bibliografía		61
ANEXOS		65

Índice de Tablas

Tabla 1 Especificaciones técnicas del servomotor GSK 110 SJT.....	12
Tabla 2 Descripción de actividades y estrategias para alcanzar el objetivo 1.....	27
Tabla 3 Descripción de actividades y estrategias para alcanzar el objetivo 2.....	28
Tabla 4 Descripción de actividades y estrategias para alcanzar el objetivo 3.....	29
Tabla 5 Descripción de actividades y estrategias para alcanzar el objetivo 4.....	30
Tabla 6 Principios de inventiva.....	31
Tabla 7 Parámetros de Ingeniería según TRIZ	34
Tabla 8 Contradicción técnica.....	35
Tabla 9 Diseño de estrategias de soluciones TRIZ.....	36
Tabla 10 Resultados del proceso de selección de materiales y procesos de manufactura.....	47
Tabla 11 Posiciones y velocidades angulares para seguir.....	50
Tabla 12 Cálculo de las posiciones finales de los módulos 1 y 2.....	51
Tabla 13 Posiciones y velocidades angulares para seguir.....	54
Tabla 14 Posiciones y velocidades lineales para seguir.....	56
Tabla 15 Cálculo de las posiciones finales de los módulos 1 y 2.....	57

Índice de Figuras

Figura 1 Diagrama fasorial de PMSM en el sistema de referencia d-q	7
Figura 2 Diagrama de bloques simplificado del lazo de control cerrado de un PMSM	9
Figura 3 Estructura simplificada de un encoder óptico absoluto.....	10
Figura 4 Servo Drive GSK DA98D	11
Figura 5 Tipología de laboratorios.....	14
Figura 6 Laboratorio virtual de Ingeniería de Control desarrollado por UNILabs	15
Figura 7 Parámetros para el desarrollo de una simulación educativa	17
Figura 8 Arquitectura convencional de un laboratorio remoto.....	19
Figura 9 Laboratorio remoto basado en lenguaje de modelado unificado	20
Figura 10 Arquitectura de laboratorio remoto empleando un router industrial y PLC.....	22
Figura 11 Arquitectura de laboratorio remoto multiusuario empleando un router industrial y PLCs.....	22
Figura 12 Interfaz gráfica de Go Lab.....	26
Figura 13 Matriz morfológica.....	38
Figura 14 Matriz de ponderación de importancia de requerimientos	39
Figura 15 Matriz de ponderación de importancia de requerimientos funcionales.....	40
Figura 16 Arquitectura del sistema	41
Figura 17 Ventanas del HMI virtual	42
Figura 18 Circuito de control eléctrico	44
Figura 19 Modelo mecánico del sistema modular didáctico	45
Figura 20 Despiece del sistema modular didáctico.....	48
Figura 21 Conjunto: base, servomotor y rueda graduada instalada.	49
Figura 22 Sistema modular implementado.....	49

Figura 23 Estudiante de 7mo nivel, ejecutando la práctica de laboratorio 1.....	51
Figura 24 Posición final de los módulos 1 y 2 ^x	52
Figura 25 Ventana de tendencia del proceso de la práctica de laboratorio 1	52
Figura 26 Trayectoria solar de referencia	53
Figura 27 Estudiante egresado ejecutando la práctica de laboratorio 2	54
Figura 28 Ventana de tendencia del proceso de la práctica de laboratorio dos	55
Figura 29 Dimensiones de la polea dentada.....	56
Figura 30 Estudiante de octavo nivel de la carrera de ingeniería en mecatrónica, realizando la práctica de laboratorio 3	57
Figura 31 Módulo 3 posterior a la práctica de laboratorio 3	58
Figura 32 Ventana de tendencia del proceso “Control Lineal” posterior a la práctica de laboratorio 3.....	58

Aspectos Generales

Problema

Los laboratorios de la Carrera de Ingeniería en Mecatrónica son entornos de aprendizaje los cuales dotan de habilidades técnicas a estudiantes de ingeniería a través del uso y la ejecución de prácticas con los equipos y herramientas que dichos laboratorios disponen.

La industria actual de la fabricación avanzada depende totalmente de la mecatrónica y de las técnicas de automatización y control (FESTO 2017), es por ello que se debe acentuar y profundizar la enseñanza de estas áreas de la Ingeniería de manera empírica, con suficientes prácticas de laboratorio con los equipos adecuados, ya que dichas áreas de conocimiento son requeridas en la industria por su amplia aplicación.

El control de servomotores es un campo de mucho interés debido a su versatilidad en el control de sistemas dinámicos, la bancada de pruebas de servomotores AC de los laboratorios de la Carrera de Ingeniería en Mecatrónica, brinda la oportunidad de realizar diversas prácticas con sus servomotores AC de altas prestaciones, sin embargo, la falta de módulos didácticos para dichas prácticas, reduce la posibilidad del análisis de problemas realistas que necesiten la implementación de servomotores.

Debido al motivo expuesto, es necesaria la construcción de un módulo didáctico para prácticas de la bancada de pruebas de servomotores AC, ya que dicho módulo enriquecerá y profundizará los conocimientos de Automatización y Control de servomotores AC. Además de brindar una perspectiva realista acerca de las aplicaciones de estas máquinas eléctricas.

Objetivos

Objetivo General

- Desarrollar un módulo didáctico para la ejecución de prácticas de laboratorio en la bancada de pruebas de servomotores AC del laboratorio de la Carrera de Ingeniería en Mecatrónica de la Universidad Técnica del Norte.

Objetivos Específicos

- Identificar los principales métodos de control de servomotores y sus aplicaciones más comunes en la industria.
- Diseñar el sistema modular para el desarrollo didáctico de prácticas de Control y Servomecanismos.
- Implementar el sistema modular a la bancada de pruebas de servomotores.
- Validar el sistema modular con la ejecución de prácticas de laboratorio con la bancada de pruebas de servomotores AC.

Alcance

Se pretende diseñar y construir un sistema modular de aprendizaje que, instalado en la bancada de pruebas de servomotores, presente en los laboratorios de la Carrera de Ingeniería en Mecatrónica, brinde a los estudiantes la posibilidad de realizar prácticas de servomotores AC. Para ello se diseñará el subsistema mecánico del módulo, el subsistema eléctrico y el subsistema de control en lazo cerrado, usando sensores para generar la señal de retroalimentación y los drivers junto con un PLC de la bancada de pruebas para controlarlo, por último, se implementará una interfaz gráfica que permita el acceso remoto al sistema modular para la ejecución “on line” de prácticas de laboratorio.

Justificación

Los actuales requerimientos de integración de las diferentes ramas de conocimiento en la industria incentivan a que los estudiantes de ingeniería mecánica y afines se involucren más con la naturaleza y el entorno de procesos industriales o mecatrónicos [1]. Los laboratorios de la Carrera de Ingeniería en Mecatrónica son espacios ideales para dicha integración de saberes, pues están equipados adecuadamente para desarrollar habilidades necesarias para un Ingeniero Mecatrónico, pero, la obsolescencia por la desactualización y el deterioro natural por el constante uso de los equipos, imposibilitan su uso, dejando algunos vacíos en el conocimiento de algunas áreas que necesitan del empirismo para concretar el proceso de aprendizaje.

En busca de darle utilidad a la bancada de pruebas de servomotores AC y al mismo tiempo darle más funcionalidades, es necesario el desarrollo de módulos didácticos de control de servomotores AC integrando las tendencias actuales de la ingeniería. Un sistema modular dotará de flexibilidad y utilidad a un recurso de laboratorio sin uso, beneficiando de gran manera en la formación de los estudiantes de Ingeniería Mecatrónica.

El uso de sistemas tecnológicos modulares y entornos de aprendizaje híbridos similares dan como resultado flexibilidad, rediseño y reprogramación del problema o de la práctica planteada, consiguiendo así una gran variedad de soluciones y nuevas formas de comprender el sistema propuesto. El sistema modular para prácticas en la bancada de pruebas de servomotores AC que se propone, es fiel a la concepción del término “Mecatrónica”, ya que reúne áreas de la tecnología que involucran sistemas de medición, actuadores y microprocesadores [2].

Los equipos de laboratorio deben estar actualizados para cumplir con las demandas de la industria actual y deben ser coherentes con las tendencias actuales de la ingeniería, la Big Data y la industria 4.0 son las que deben marcar el horizonte de la educación superior en Ingeniería

por la importancia que tienen para el desarrollo global y económico [3]. La inmediatez informática y el acceso a entornos de aprendizaje híbridos, como laboratorios remotos, se hicieron más demandados de repente por la crisis sanitaria mundial causada por la COVID-19, la falta de equipos capaces de ser controlados remotamente, imposibilitó a estudiantes de la Carrera de Ingeniería en Mecatrónica a usar dichos elementos de laboratorio causando desventajas competitivas, el módulo de prácticas propuesto atenuaría dichas consecuencias al brindar la posibilidad de ser controlado remotamente a través de una interfaz gráfica.

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO Y REFERENCIAL

1.1. Marco Teórico

1.1.1. *Motor síncrono de imanes permanentes.*

Los motores síncronos de imán permanente (PMSM por sus siglas en inglés), son máquinas eléctricas empleadas en importantes campos de la industria como generadores eléctricos, servomotores, robótica, actuadores de posicionamiento, ascensores, etc. Últimamente el avance de la tecnología, el desarrollo en el campo de los semiconductores y la explotación de materiales magnéticos de mejores prestaciones han permitido una rápida y constante evolución de estas máquinas [4]. Su alta eficiencia energética, alta relación torque-peso, un alto factor de potencia, bajo mantenimiento y robustez hacen de este motor un elemento idóneo dentro de cualquier sistema mecánico que necesite una velocidad constante y un control de posición [5].

Cuando al PMSM está conectado a una alimentación trifásica se genera un campo magnético giratorio, pero a diferencia de un rotor cilíndrico con devanado de jaula de un motor a inducción, se tiene un rotor con un devanado excitado de corriente continua a través de anillos colectores o en el caso específico de los PMSMs de imanes permanentes, instalados para lograr que el motor se sincronice con dicho campo magnético giratorio generado por el estator. Se entiende que el rotor se ha sincronizado cuando su velocidad es semejante a la que, rota el campo magnético del estator. A pesar de la variación de la carga, mientras el suministro de frecuencia sea estable, dicha velocidad también lo será.

La velocidad síncrona es dada por la siguiente expresión:

$$N_s(\text{rev}/\text{min}) = \frac{120f}{p} \quad (1)$$

Donde, “f” será la frecuencia a la que será inducido el flujo eléctrico, en el caso particular de Ecuador 60 Hz, y “p” el número de polos o devanados que posee el motor [6] Como consecuencia se tienen velocidades constantes pero fijas, si se necesita variar esta velocidad se necesitaría de un controlador.

Métodos de control de velocidad para PMSM

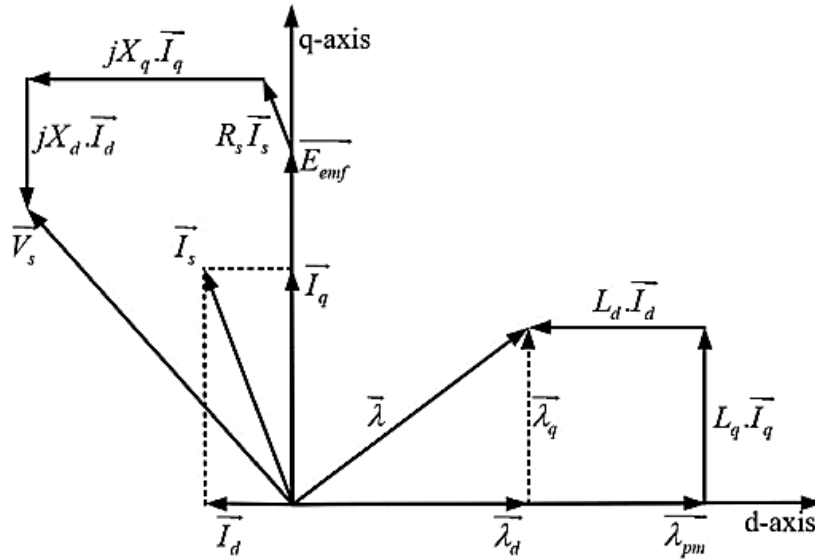
Los PMSMs son máquinas robustas y de altas prestaciones, pero su comportamiento dinámico es afectado en entornos de alta incertidumbre, por ejemplo: cambios bruscos de temperatura, variaciones en el torque por cargas externas o saturación magnética; por lo que es necesario implementar un buen método de control para mejorar su dinámica [7].

El primer método de control implementado en máquinas eléctricas fue de tipo escalar con el cual se obtenía una respuesta transitoria deficiente. El desarrollo de un control vectorial permitió un control más preciso en el par electromagnético, el Control al Campo Orientado (FOC) consiste en tratar el flujo del estator y el par electromagnético por separado, para ello es necesario tomar en cuenta las corrientes que alimentan al motor como se muestra en el modelo matemático basado en [8] en las ecuaciones (2)(3).

Donde se describe que, para dotar de potencia activa al motor y simultáneamente aumentar la velocidad del motor síncrono de imanes permanentes, el ángulo entre el voltaje del estator y la fuerza electromotriz trasera (Back-EMF) deberá ampliarse o aumentar la corriente “d” en dirección negativa como se indica en la Figura 1 [9].

Figura 1

Diagrama fasorial de PMSM en el sistema de referencia d-q.



Nota: Obtenido de [9]

$$\frac{d}{dt} i_q = \frac{1}{L_q} u_q - \frac{R}{L_q} i_q - \frac{L_q}{L_q} p \omega_m i_d - \frac{\lambda p \omega_m}{L_q} \quad (2)$$

$$\frac{d}{dt} i_d = \frac{1}{L_d} u_d - \frac{R}{L_d} i_d - \frac{L_q}{L_d} p \omega_m i_q \quad (3)$$

Donde:

- L_d y L_q son inductancias en los ejes q y d.
- i_d y i_q son las componentes rectangulares de la corriente I_s .
- R representa la resistencia en el devanado del estator.
- ω_m es la velocidad angular.
- λ es la amplitud de flujo inyectada por los imanes permanentes del rotor.

El torque eléctrico proporcionado está dado por (4) mientras que la velocidad del rotor es calculada mediante leyes de Newton en (5):

$$T_e = 1.5p[\lambda i_q + (L_d - L_q)i_d i_q] \quad (4)$$

$$\frac{d}{dt} \omega_r = \frac{1}{J} (T_e - F \omega_m - T_m) \quad (5)$$

Siendo J el valor de la inercia total cuando del motor cargado, F la viscosidad, T_m el torque del rotor y ω_m la velocidad angular del rotor.

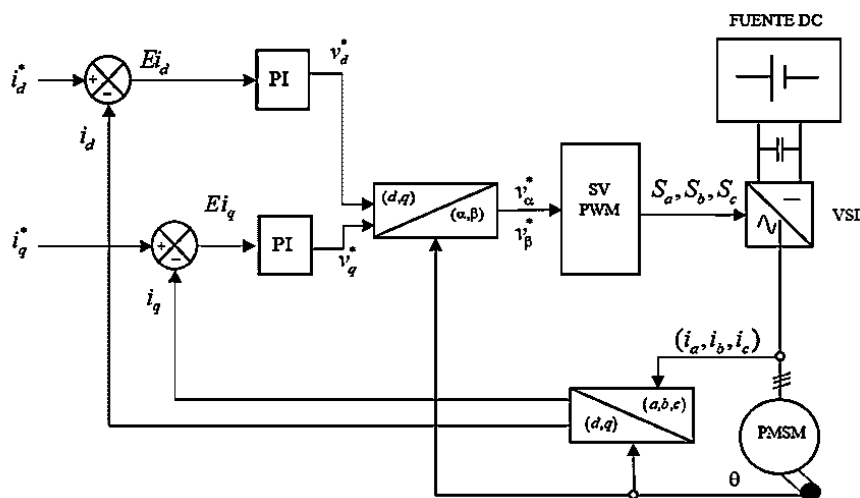
La estrategia de control orientada al campo mediante un controlador tipo proporcional – integral (PI) es uno de los sistemas mejor establecidos para el control de PMSMs debido a que dota de una cierta robustez para resistir pequeñas interferencias, controlando el flujo del estator regulando el componente de la corriente en el eje d (i_d) y el par electromagnético mediante la regulación de i_q , corrientes que serán calculadas con las transformaciones inversas de Clarke y Park [7].

Las mediciones y los valores calculados generarán un error, mismo que ingresará en cada controlador PI, la señal de salida v_d y v_q serán transformadas mediante la inversa de Park al sistema de referencia bifásico estacionario (α, β), posteriormente ingresarán a un módulo para su modulación por ancho de pulso en el espacio vectorial (SVPWM) mismo que permite enviar los estados de conmutación correctos al VSI el cual genera el vector de voltaje correcto para alimentar al PSMS como se indica en la Figura 2 [10].

Este tipo de controlador es incapaz de dar seguimiento a errores estáticos, pero sí a errores no estáticos en corriente continua, su deficiencia para lidiar con los armónicos en corriente alterna representa una pérdida dinámica del sistema. Para disminuir dicha pérdida, investigadores han propuesto eliminar o atenuar los armónicos con técnicas de control más avanzadas, como el modelo de control predictivo, redes neuronales, modo deslizante, entre otras [11].

Figura 2.

Diagrama de bloques simplificado del lazo de control cerrado de un PMSM.



Nota: Recuperado de [10].

1.1.2. Servomotores AC.

Los servomotores síncronos de corriente alterna (CA) usualmente son empleados en aplicaciones industriales que requieran un control de posición de manera precisa pero no un gran par de arranque, para lograrlo, se emplean técnicas eficientes de control que aseguren un buen rendimiento y estabilidad. Para establecer una ley de control se necesita considerar las incertidumbres del modelo muchas veces generadas por hostilidades en el ambiente, cambios de temperatura o saturación magnética [12].

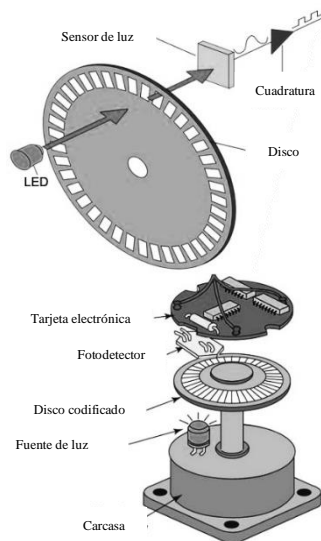
Generalmente los servomotores son dotados de un sensor capaz de determinar la posición del rotor llamado encoder. Es un dispositivo que según la escala y forma de la señal de salida se pueden clasificar en absolutos o incrementales, aunque en una división más detallada según su configuración física, entre ellos, encoders ópticos, magnéticos, capacitivos e inductivos.

Los encoders ópticos absolutos son los más implementados en la industria, son transductores rotativos que convierten el movimiento angular en impulsos digitales. Para la detección de movimiento angular se utiliza una técnica llamada “exploración fotoeléctrica”. El

sistema de medición consta de un disco graduado reticulado radialmente, el disco se conforma así de líneas opacas y traslúcidas como se muestra en la Figura 3, cuando la señal lumínica emitida por un infrarrojo atraviesa el disco graduado, proyecta su imagen en foto receptores y estos se encargarán de interpretar y emitir una señal eléctrica correspondiente a la posición actual del disco [13].

Figura 3

Estructura interna simplificada de un encoder óptico absoluto.



Nota: Recuperado de [14]

Servodrive GSK DA98D

El servodrive es un elemento constitutivo del sistema de accionamiento de un servomotor, ver Figura 4, este modelo en específico construido por el gigante chino GSK tiene dos configuraciones, para control de velocidad y posición angular. Puede adaptarse a sistemas de control en lazo abierto o cerrado, es aplicado generalmente en máquinas CNC y en la industria de la automatización [15].

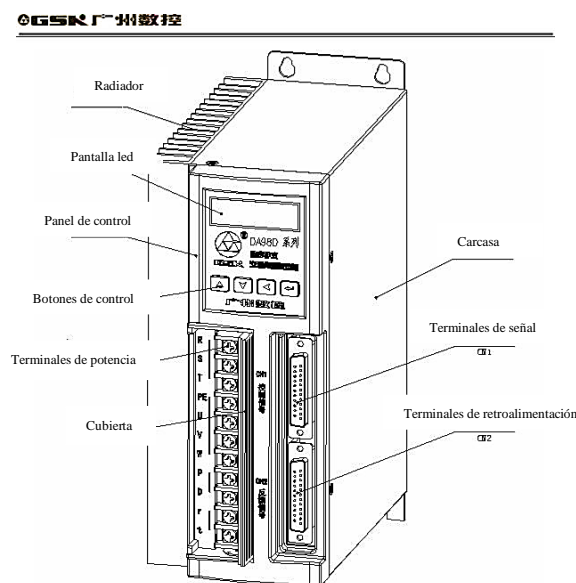
Su arquitectura es compacta y de alta integración, haciendo uso del chip TMS320LF2407A DSP especializado para control de motores, una pantalla lógica programable compleja y un módulo de potencia MITSUBISHI. Haciendo uso de un óptimo PID, ejecuta una acción de

control fiable de PWM. En comparación con el control a pasos, este dispositivo goza de las siguientes ventajas:

- Evita fenómenos de desincronización al incluir un encoder en el servomotor el cual genera la señal de retroalimentación a la unidad del servodrive.
- Mantiene un par estable en todo el rango de velocidades 1:5000.
- Alcanza una velocidad de 3000 revoluciones por minuto con una precisión de 1/10000 revoluciones.
- Ofrece un control flexible permitiendo modificar sus parámetros y configuración de trabajo para cumplir diferentes requerimientos del usuario[15].

Figura 4

Servodrive GSK DA98D



Nota: Obtenido de [15].

Servomotor GSK 110SJT

Este servomotor es una máquina síncrona de imanes permanentes, elaborados con tierras raras que mejoran su desempeño. Es capaz de mantener un alto par a velocidad cero, proporcionando un alto rendimiento tanto a altas como a bajas revoluciones. Su arquitectura permite una alta capacidad de respuesta, haciéndolo ideal para aplicaciones de control de velocidad y posicionamiento preciso. Su diseño eficiente mejora el par potencia – peso y reduce

ruidos y vibraciones [16]. En el desarrollo de este proyecto, específicamente se empleará el modelo M040D, sus características técnicas se pueden visualizar en la Figura 5.

Tabla 1

Especificaciones técnicas del servomotor GSK 110 SJT

Ítem \ Especificaciones	110SJT-M020E	110SJT-M040D	110SJT-M060D
Potencia (kW)	0.6	1.0	1.5
Polos	4	4	4
Voltaje De Entrada Del Driver(v)	220VCA tres fases (o fase única)	220VCA tres fases (o fase nica)	220VCA tres fases
Corriente nominal (A)	3	4.5	7
Cupla nominal (N · m)	2	4	6
Cupla máxima (N · m)	8	12	12
Velocidad nominal (r/min)	3000	2500	2500
Velocidad máxima (r/min)	3300	3000	3000

Nota: Recuperado de [17]

1.1.3. Laboratorios híbridos.

La crisis mundial originada por la pandemia experimentada en 2020 causó gigantescas modificaciones en el sistema educativo, al suspender la modalidad presencial en la mayoría de las escuelas, colegios, universidades y demás instituciones educativas, los estudiantes que se quedaban en casa necesitaban de una estrategia funcional para continuar con su proceso formativo. El aprendizaje electrónico (e-learning) es una novedosa metodología de enseñanza a distancia al proporcionar suficiente información al alcance de todos y en todo momento, esta tecnología permitió seguir dotando de material educativo basado en la web a los estudiantes [18].

La motivación es un factor muy determinante para el éxito de la implementación de herramientas e-learning, se ha demostrado que estudiantes desmotivados se enfocan más en sus valoraciones cuantitativas que en su formación académica lo cual no es deseable, por lo tanto, la inclusión de este sistema no tendrá una significativa intensión de uso sin antes conquistar el interés del estudiante [19].

De acuerdo con estudios, las ventajas que existen en el uso de herramientas de aprendizaje electrónico desde la perspectiva del alumno radican en el fácil acceso, sencilla operación y utilidad, lo cual permite cubrir las necesidades académicas de los estudiantes y por consecuencia, animan a su uso constante en su proceso formativo [20].

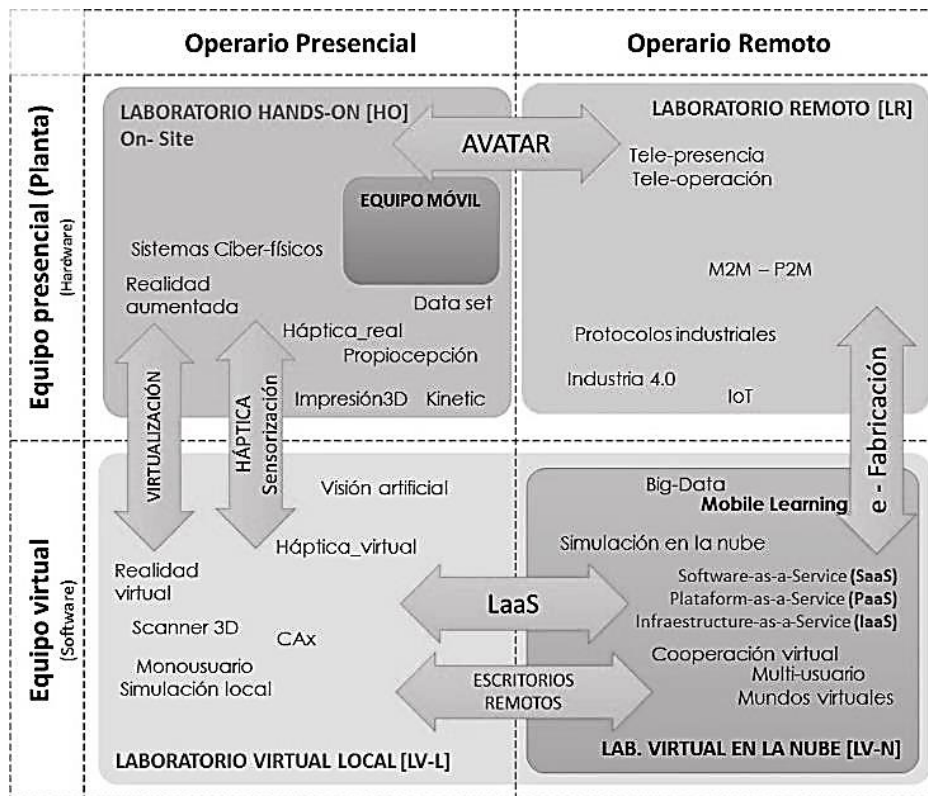
Las necesidades de llevar la academia a la virtualidad responden a la evolución del mundo en general hacia la industria 4.0. Conceptos como el Internet de las Cosas (IoT por sus siglas en inglés) cobran mucha visibilidad e importancia en el panorama mundial actual, y es que disponer de una plataforma como el internet en la cual diferentes dispositivos inteligentes, sensores y actuadores estén conectados, trasmitiendo datos los cuales son accesibles desde cualquier parte del mundo, ofrece grandes ventajas competitivas, no solo para la industria, ahora también para el área educativa y de salud [21].

La alta demanda de educación a distancia en torno a las Ciencias, Tecnología e Ingeniería (STE por sus siglas en inglés) ha permitido el desarrollo de novedosas metodologías de educación a través de internet, las más importantes relacionadas con aprendizaje electrónico (e-learning), realidad y laboratorios virtuales, conceptos que han impulsado el avance del Aprendizaje inmersivo [22].

El gran problema de la educación a distancia en disciplinas STE es que es obligatorio el acceso a prácticas de laboratorios para el desarrollo de habilidades técnicas. En el estudio de la literatura se han propuesto varias ideas para remediar la situación, una de ellas es la adecuación de laboratorios que puedan ser operados remotamente (laboratorios remotos) y laboratorios virtuales interactivos basados totalmente en software [23]. Aunque existe una tipología de acuerdo con la configuración y funcionalidades del entorno de aprendizaje virtual como se observa en la Figura 6, hasta el momento no hay una clara definición entre una clasificación y otra.

Figura 5

Tipología de laboratorios.



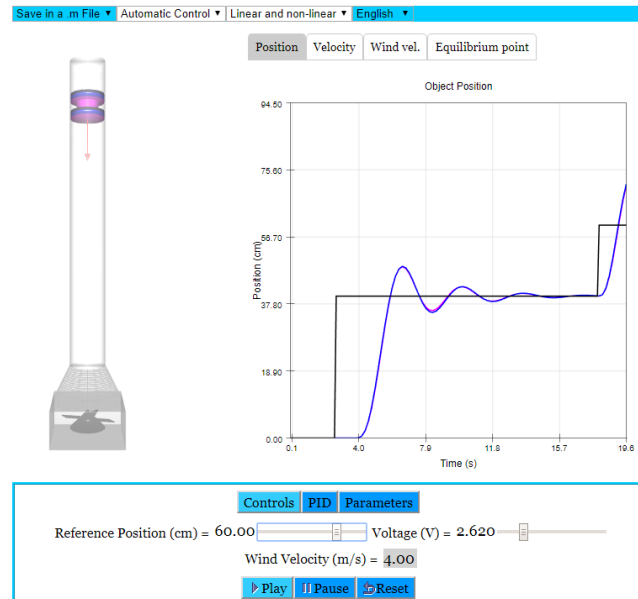
Nota: Recuperado de [24].

Laboratorios virtuales.

Los laboratorios virtuales son simulaciones desarrolladas en software los cuales tienen la característica de tener una muy buena capacidad de visualización e interacción como se evidencia en la Figura 7. Estos laboratorios son capaces de reproducir o imitar con un cierto porcentaje de exactitud, un fenómeno físico o un experimento de Ingeniería sin la necesidad de contar con costosos o sofisticados equipos, son también conocidos como escritorio remoto pues el software se instala virtualmente, es decir, se establece un servidor el cual dará soporte, contendrá los datos y sobre el cual se ejecutará dicha simulación [24].

Figura 6

Laboratorio virtual de Ingeniería de Control desarrollado por UNIlabs.



Nota: Recuperado de [25]

Las ventajas que ofrecen los laboratorios virtuales son numerosas, son más sencillos y menos costosos de desarrollar que un laboratorio híbrido al no contar con componentes tipo hardware. Su portabilidad y accesibilidad son de sus mayores ventajas, la mayoría de los dispositivos móviles como laptops o celulares poseen herramientas de navegación World Wide Web, por lo tanto, solo se necesitará una conexión segura a internet para distribuir y ejecutar estos programas destinados a la educación [26].

Facilitan los procesos pedagógicos ya que el estudiante decidirá el tiempo de dedicación para realizar las prácticas, esto permite un estudio más detallado del fenómeno que se está estudiando y, por lo tanto, una mejor comprensión. Las herramientas y equipos de laboratorio sufren de obsolescencia tecnológica con el pasar del tiempo, sus refacciones y mantenimiento conllevan un arduo trabajo y altos costos, un laboratorio virtual tiene la ventaja de ser fácilmente modificable, agregando o quitando funcionalidades, adaptándolos a las necesidades y motivaciones de los estudiantes [26].

Para desarrollar un laboratorio virtual se necesita tomar en cuenta importantes aspectos:

- **Multiplataformas:** se debe procurar que el entorno virtual sea desarrollado en herramientas informáticas compatibles por lo menos con sistemas operativos frecuentemente utilizados.
- **Económicos:** se debe garantizar que estos proyectos se realicen con herramientas gratuitas o de código abierto, ampliando el alcance de estos recursos pedagógicos al no tener que adquirir costosas licencias o suscripciones temporales.
- **Interactivos:** la interfaz gráfica del laboratorio virtual debe permitir ajustar los parámetros de la simulación o del fenómeno estudiado y evidenciar estos cambios a través de gráficos y diagramas.
- **Flexibles:** los entornos virtuales de aprendizaje se podrán modificar fácilmente para generar nuevas actividades y prácticas, incentivando la curiosidad del estudiante y estimulando constantemente su interés.
- **Cooperativos:** el contar con múltiples desarrolladores enriquecerá el proyecto, ya que se aportará nuevas ideas y funcionalidades al laboratorio virtual. Implementar una estrategia de retroalimentación validará el buen funcionamiento del entorno virtual [27].

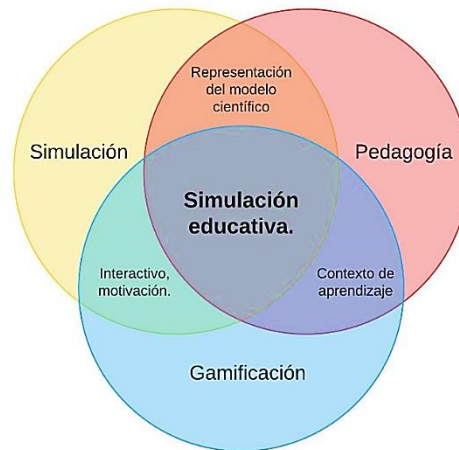
La simulación es el principal recurso empleado en los laboratorios virtuales, muchas veces expresadas en gráficas del fenómeno estudiado, hojas de cálculo dinámicas o historias ramificadas. Según varios autores, las simulaciones: van más allá que una imagen, transmiten un significado; reproducen o imitan un proceso real; y deben ser interactivas, es decir, se pueden observar y manipular. Para el diseño de este tipo de simulaciones educativas se deben incluir estos tres componentes como se detalla en la Figura 8 [28]:

- 1) Mecanismos de simulación relacionados con el software o interfaz.
- 2) El diseño tecno pedagógico dotado por el modelo científico y la planificación didáctica.

- 3) La gamificación que genera interés y proporciona un contexto de aprendizaje práctico.

Figura 7

Parámetros para el desarrollo de una simulación educativa.



Nota: Adaptado de [28].

Laboratorios remotos

Por definición, los laboratorios remotos son básicamente sistemas que tienen la capacidad de controlar los equipos de laboratorio a larga distancia. Al no necesitar personal de laboratorio presencial, la franja horaria puede extenderse, esto es realmente ventajoso cuando se tienen grupos de estudiantes numerosos. Los docentes también se benefician, pues brindan la posibilidad de monitorear y capacitar a distancia, las barreras temporales y espaciales se verían disminuidas [29].

Este tipo de laboratorios ofrecen las mismas prestaciones pedagógicas que los laboratorios convencionales. Brindan ciertas ventajas que los hace competentes frente a otra tipología de laboratorios, en términos de costos, su desarrollo es muy factible, pues la inversión en instrumentación y en equipos es reducido, el mantenimiento también suele ser económico y más si es compartido, en el caso de que un laboratorio remoto sea utilizado por varias instituciones. Tomando en cuenta la realidad de muchos alumnos que estudian y trabajan en tiempo parcial, este recurso es muy valioso ya que el laboratorio estaría

disponible en horarios más flexibles. Así, usando un dispositivo inteligente, se podría experimentar en un tiempo oportuno para el estudiante [30].

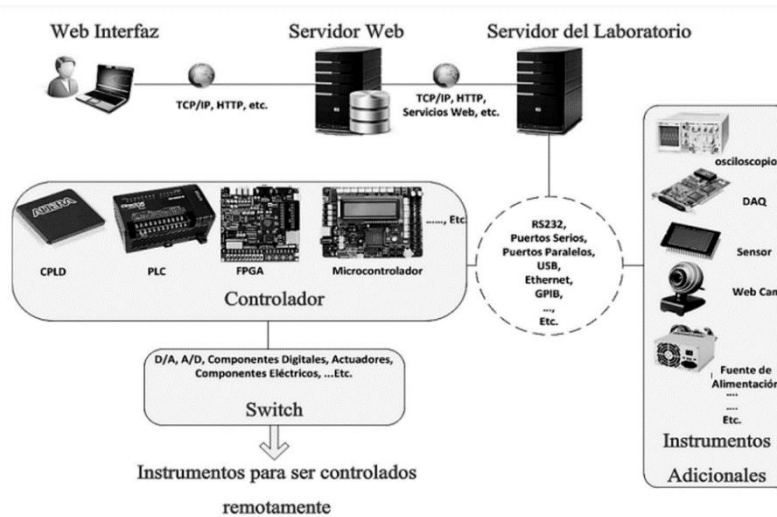
Las partes constitutivas de un laboratorio remoto dependen de la configuración y funcionalidades que se prevea implementar, debido a que no existe una arquitectura definida para el desarrollo de esta clase de entornos de aprendizaje, las estructuras pueden variar, prestando mejores o limitadas características para su control remoto. En el estudio de la literatura se identificó una arquitectura común empleada para el desarrollo de dichos laboratorios, véase en la Figura 9, en el cual se describen los siguientes componentes:

- **Web Interfaz:** es la página web destinada a la gestión del laboratorio, encargada del registro, la autenticación del usuario y la modificación de parámetros del sistema, usualmente desarrollada en lenguajes de programación web como HTML o JavaScript. Suele tener un diseño sencillo y muy funcional, basado en tecnologías como animación Flash o Java Applets.
- **Servidor web:** aloja al sitio web, conectada a una base de datos (MySQL, Oracle, MS SQL, entre otros) almacena los datos de los usuarios. Gestiona la autenticación del usuario para posteriormente brindar accesibilidad al servidor del laboratorio.
- **Servidor de laboratorio:** se encarga de interpretar las peticiones del usuario a señales comprensibles por el controlador, usualmente son desarrollados en lenguajes de programación destinados a control y automatización tal como Matlab o LabVIEW y a través de protocolos de comunicación TCP/IP, se enlazan con el controlador.
- **Controlador:** es un dispositivo que gestiona los procesos de control de los instrumentos reales, puede ser un Microcontrolador o un Controlador Lógico programable (PLC).

- **Adicionales:** son instrumentos que contribuyen al funcionamiento del sistema, como variadores de frecuencia, convertidores análogo-digitales, relés, cámaras digitales, entre otras [31].

Figura 8

Arquitectura convencional de un laboratorio remoto.



Nota: Obtenido de [31]

1.2. Marco Referencial

1.2.1. Sistemas de control de PMSM.

Los sistemas de monitoreo y control industrial remotos son iniciativas bastante generalizadas en la actualidad, Marcel Nicola en [32] propone una aplicación de control de PMSM en tiempo real haciendo uso de un servidor OPC y uno web. En esta investigación se usa el paradigma de control FOC en el cual se hace uso de un sistema embebido para establecer la acción de control, empleando un controlador tipo PI con parámetros K_p y K_i variables para un óptimo control de la velocidad.

En este tipo de implementaciones se debe tomar en cuenta que el software sea bastante flexible para que el usuario emplee los menores recursos computacionales posibles, pero a la vez debe ser robusto para un control óptimo en tiempo real de los motores. Para ello se ha usado una integración de softwares tales como Matlab/Simulink y LabVIEW, el primero ejecutará las simulaciones numéricas y el control en tiempo real empleando Toolboxes

específicos. La programación en LabVIEW usa tecnología para comunicarse con Simulink y proporciona un servidor web integrado [32].

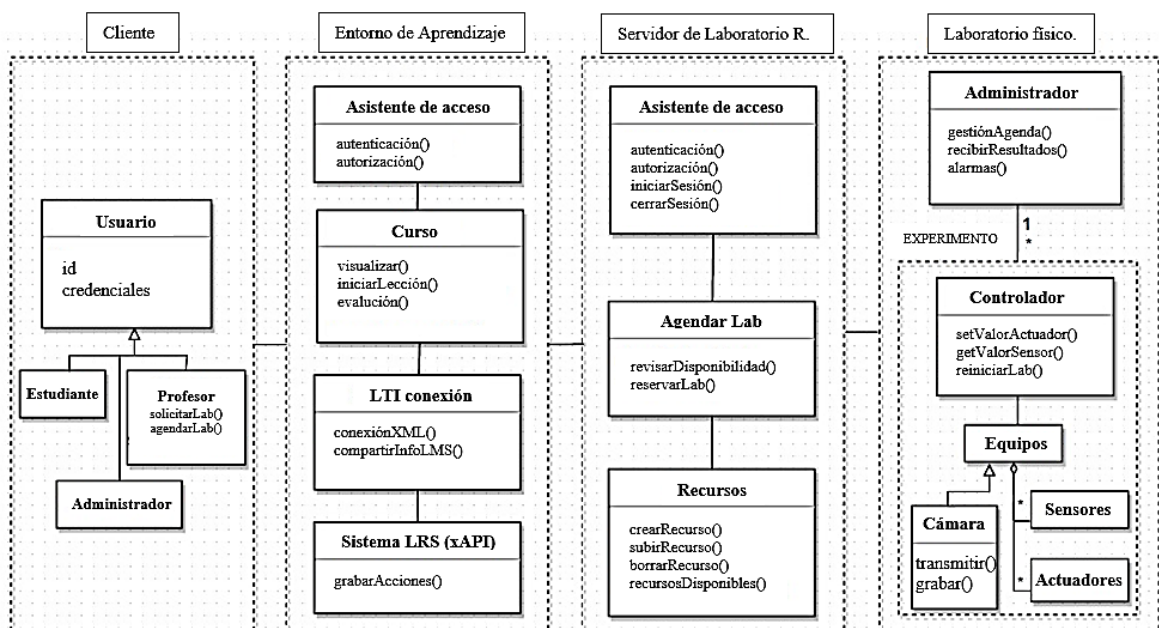
1.2.2. Arquitecturas de laboratorios remotos.

Los sistemas de laboratorio remoto (SLR), son entornos de aprendizaje que representan sistemas o dispositivos reales que pueden ser operados y controlados a distancia mediante una interfaz usuario – máquina que se ejecuta en un ordenador [33]. Aunque su clasificación no está del todo clara, existen investigaciones que presentan metodologías que asisten al diseñador para desarrollar este tipo de laboratorios basándose en las funcionalidades que se prevea poseer y la tecnología de comunicación entre usuario y máquina.

Zapata Rivera en [34], establece un modelo de laboratorio remoto especificado por un Lenguaje de modelado unificado (UML por sus siglas en inglés), ver Figura 10, el cual integra también un sistema de gestión de aprendizaje (LMS por sus siglas en inglés) y un estándar educativo para comunicar los servidores del laboratorio remoto y dicho entorno de aprendizaje. Esta estructura de dos estándares es clave en esta arquitectura.

Figura 9

Laboratorio remoto basado en lenguaje de modelado unificado.



Nota: Adaptado de [34].

El primer estándar, la interoperabilidad de herramientas de aprendizaje (LTI) tiene como objetivo principal conectar sistemas de aprendizaje con herramientas de servicio externo que sean comunes en todos los sistemas de gestión de aprendizaje. Para permitir la interoperabilidad entre ambos sistemas, este estándar emplea el lenguaje XML. El segundo estándar es Experience API (xAPI). Esta interfaz de programación de aplicaciones permite que los sistemas de aprendizaje se comuniquen entre sí para registrar y monitorear experiencias de aprendizaje [35].

En este modelo se usa un control de acceso basado en roles, el profesor y el estudiante, siendo este primero quien posee las funciones de agendar el uso del laboratorio y dar acceso a los recursos disponibles. El modelo se puede modificar en base a las funcionalidades, organización del grupo y nivel de colaboración que se desee tener, así los roles pueden tener más o menos funciones según lo requerido [35].

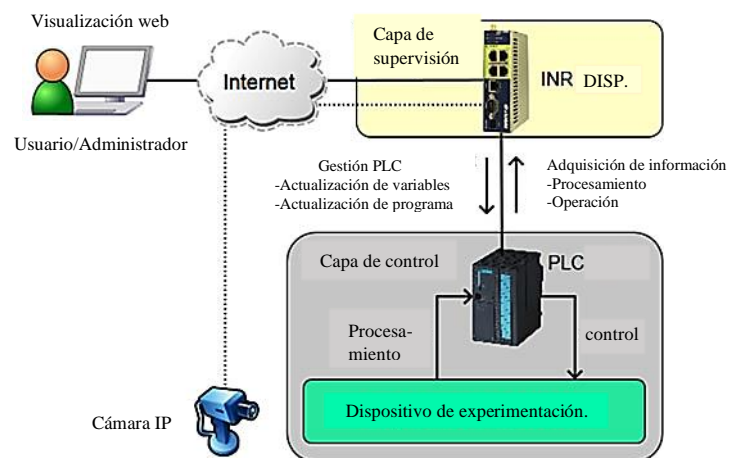
Una arquitectura de hardware y software multipropósito permite la implementación relativamente sencilla de un laboratorio remoto. Así, Kalúz Martin, establece un modelo de hardware, basado en dispositivos destinados a la industria con los que es posible implementar varios experimentos físicos, limitados únicamente por la configuración de sus nodos y del software basado en la web. La versatilidad de esta arquitectura propuesta es superior en cuanto a que, por la accesibilidad a los dispositivos, es de fácil configuración, por lo tanto, se adapta a las necesidades del educador o estudiante dependiendo de los requerimientos del experimento [35]

Este modelo consta de dos importantes dispositivos de control, un router de red industrial, a diferencia de otras arquitecturas que usan computadores como servidores, y un controlador lógico programable (PLC) como se detalla en la Figura 11, de esta manera el router representa la capa de supervisión de la configuración operativa. La arquitectura de hardware y software multipropósito proporciona funciones de seguridad pre implementadas para la

comunicación y funcionamiento, los datos en procesos de transferencia entre el PLC y el router están protegidos por protocolos industriales específicos, esta labor la hace automáticamente el router dependiendo de la marca del PLC empleado. La implementación de esta arquitectura supone una gran ventaja al brindar la oportunidad de conectar varias estaciones de experimentación al mismo tiempo, ver Figura 12, sin la necesidad de configurar el modelo [35].

Figura 10

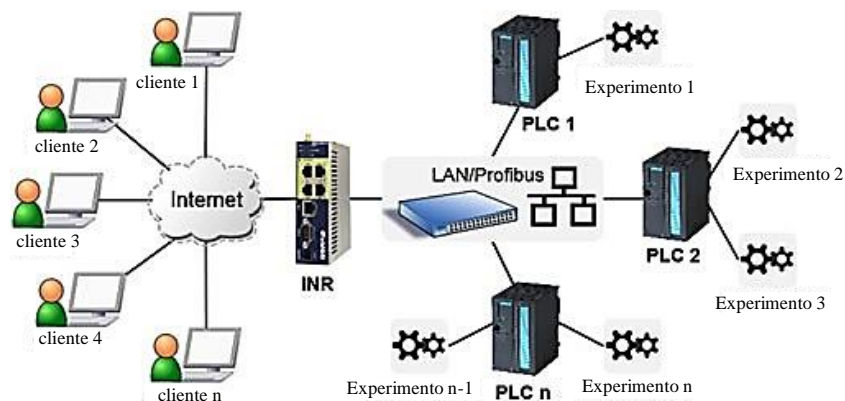
Arquitectura de laboratorio remoto empleando un router industrial y un PLC.



Nota: Obtenido de [35].

Figura 11

Arquitectura de laboratorio remoto multi usuario empleando un router industrial y PLCs.



Nota: Obtenido de [35].

1.2.3. Laboratorios remotos en la región.

Laboratorios remotos LARUN.

La iniciativa de LARUN es un proyecto lanzado en 2023 por la Universidad Nacional de Colombia (UNAL) en su etapa inicial de transformación digital, se trata de una plataforma de laboratorios remotos en la que constan 6 de 17 instrumentos que serán implementados bajo esta modalidad, entre ellos un planímetro y un curvímetro para fotogrametría, un dispositivo de microscopía, entre otros. En total serán 24 experimentos que estarán disponibles en la plataforma, las 24 horas al día los 7 días a la semana. Es accesible a través de un correo electrónico que permite interactuar con la herramienta web modificando los datos o valores destinados para cada equipo, y en tiempo real [36].

Según Younes Velosa, Vicerrector de Investigación del Sistema Nacional de Laboratorios UNAL, la implementación de estos entornos de aprendizaje facilita y permite la interacción de la ciudadanía con las estaciones de experimentación de alto costo que posee la Universidad, así se genera una apropiación de conocimiento dentro como fuera de la academia. Cabe mencionar que este proyecto es parte de una iniciativa mucho más grandes de integración multistitucional llamada “Laboratorios al Parque”, que busca la socialización de los laboratorios remotos en la comunidad[36].

Por su parte el profesor Segura Giraldo, docente de la mencionada Universidad, expuso que potenciar la implementación de estos proyectos, resolvería muchos problemas entorno a la educación vividos durante la pandemia, ofreciendo a la comunidad laboratorios especializados para fortalecer conocimientos en química, física, Ingeniería Eléctrica, física, electrónica entre otras áreas[36].

1.2.4. Resultados pedagógicos.

Los laboratorios remotos forman parte de las estrategias y metodologías de la educación basadas en la pedagogía del aprendizaje activo, este paradigma es realmente importante en la educación superior y en la formación en Ingeniería en general pues promueve las habilidades técnicas de transferencia necesarias entre la teoría a la práctica. Van den Beemt en [37] estudia las ventajas pedagógicas de la implementación de un laboratorio remoto a través de un estudio de caso, en el cual los estudiantes afirmaron que prefieren los laboratorios remotos a los físicos.

Por lo tanto, brindando asistencia a los estudiantes antes y durante los experimentos, proporcionando una señalización clara para los estudiantes sobre el experimento y la configuración del laboratorio, y organizando las actividades del laboratorio de antemano pueden fortalecer el compromiso para el proceso de aprendizaje. Una definición precisa del proceso y una pedagogía basada en el aprendizaje activo, que incluye una fase de preparación, ayudaron a la adquisición de conocimientos y facilitaron el aprendizaje profundo durante y después de los experimentos [38].

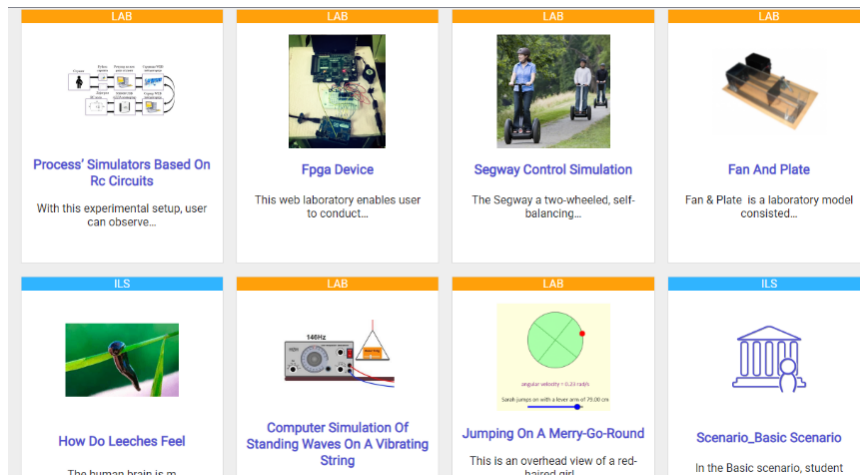
En el análisis del impacto que tienen la experimentación remota y los entornos de aprendizaje virtuales, Achuthan resalta marcadas diferencias entre los laboratorios remotos y las estaciones de experimentación física. La disponibilidad y la flexibilidad de los experimentos, el tiempo requerido para llevarlos a cabo y el tipo de interacción entre estudiantes, instructores y el equipo son algunos de los aspectos que componen estas diferencias. Debido a la disponibilidad limitada de mencionadas estaciones y al tiempo de laboratorio, los experimentos en laboratorios físicos suelen realizarse en grupos, esto limita las oportunidades de aprendizaje individualizado de los estudiantes y la exposición adecuada al experimento. Sin embargo, en la plataforma de tiempo real implementada en este artículo, los

experimentos se realizan individualmente y se pueden repetir cuantas veces sea necesario hasta que se alcance una comprensión conceptual completa. La falta de formación pragmática se reduce gracias a la mayor individualización e interacción alumno-máquina que se logra mediante la experimentación uno a uno con el equipo, así como a la flexibilidad adicional de repetir los experimentos sin restricciones de tiempo [38].

Los laboratorios híbridos, como son los remotos, representan una innovadora estrategia para la formación en Ciencia, Tecnología, Ingeniería y Matemáticas (STEM). La federación Go-Lab es una iniciativa que abarca múltiples laboratorios accesibles por internet como se visualiza en la Figura 13. Estos dotan a los estudiantes espacios para desarrollar conocimientos o habilidades técnicas a través de la experimentación con laboratorios correctamente estructurados pedagógicamente.

El enfoque de enseñanza adoptado por Go-Lab es el aprendizaje por indagación en el cual la información no se ofrece directamente al estudiante, sino que esta deberá abstraerse a través de la interacción con algún fenómeno real o con el modelo de dicho fenómeno. Bajo este paradigma el laboratorio será estructurado en tres partes, en la primera se adopta una posición teórica llamada hipótesis que generará dudas e invitará al estudiante a experimentar [39].

Segundo, cuando ya se forma una opinión crítica gracias a los resultados de la experimentación, se formularán nuevas ideas que favorezcan o rechacen la hipótesis inicial, mismas que deberán ser reportadas y compartidas al docente para su evaluación y retroalimentación del proceso de enseñanza-aprendizaje y así culminar con la práctica. El enfoque de la indagación guiada ha sido seleccionado por demostrar su efectividad frente a otros paradigmas pedagógicos [39].

Figura 12*Interfaz gráfica de Go Lab*

Nota: Recuperado de [40]

CAPÍTULO II

2. MARCO METODOLÓGICO

Para el efecto del presente trabajo de titulación, se emplea una investigación aplicada cualitativa, a través de un método descriptivo. Para ello se emplean metodologías de la Ingeniería concurrente, desarrollada en [41] y de la teoría de resolución de problemas de forma inventiva (TRIZ), descrita en [42]. Como parte de los instrumentos de este trabajo, se emplean experimentos de laboratorio y entrevistas, así como bibliografía disponible en temáticas afines.

2.1. Objetivo específico 1 (fase 1):

En esta etapa se encuentra toda la base teórica e información necesaria para sustentar y justificar el presente trabajo de titulación. Se pretende identificar los principales métodos de control de servomotores y sus aplicaciones en la industria empleando una investigación exploratoria. Para ello se estudian los documentos especificados en la Bibliografía y se redacta un Marco Teórico y Referencial como resultado de dicha investigación, ver Tabla 1.

Tabla 2

Descripción de actividades y estrategias para alcanzar el objetivo 1.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS	ACTIVIDADES	METODOLOGÍA	RESULTADOS POR OBJETIVO	MEDIO DE VERIFICACIÓN	INSUMOS
<ul style="list-style-type: none"> • Identificar los principales métodos de control de servomotores y sus aplicaciones más comunes en la industria. 	<ul style="list-style-type: none"> • Estudio del estado del arte. • Redacción del Marco Teórico y Referencial. 	<ul style="list-style-type: none"> • Investigación exploratoria. • Investigación documental. • Investigación aplicada. 	<p>Se genera la documentación y el fundamento teórico necesario para el correcto desarrollo del sistema.</p>	<p>Documentación bibliográfica.</p>	<p>Bibliografía.</p>

2.2. Objetivo específico 2 (fase 2):

El diseño es un proceso sistemático y fundamentado en el estudio de requerimientos y limitaciones del producto que se desea diseñar. El objetivo de esta fase es diseñar el sistema modular para el desarrollo didáctico de prácticas de Control y Servomecanismos, para ello se

ha dividido el conjunto en tres subsistemas, el mecánico y estructural, electrónico y la interfaz gráfica como se aprecia en la Tabla 2.

Para el diseño del sistema mecánico se establecen las características necesarias para ser un diseño funcional y robusto, teniendo en cuenta siempre que las funcionalidades destino del sistema serán puramente pedagógicas. Se usa software de diseño asistido por computadora (CAD) y se obtiene como resultado la respectiva documentación técnica, en este caso planos mecánicos de conjunto y partes. El diseño del sistema eléctrico empieza en la identificación de los instrumentos y componentes electrónicos, así como las respectivas conexiones entre ellos. Se emplea un software de simulación mismo que servirá para generar los esquemas eléctricos y documentación respectiva.

La interfaz gráfica será diseñada para una sencilla interpretación del usuario, se adoptará una arquitectura ya implementada en la bibliografía estudiada y se buscará una visualización atractiva y amigable con el usuario, factores que favorecen al proceso de aprendizaje. Mediante dicha interfaz el usuario será capaz de configurar los parámetros de control, visualizar el experimento a través de video en tiempo real y obtener retroalimentación con gráficas que describen al fenómeno. Se emplearán entornos de desarrollo integrado (IDE) que faciliten la programación y la configuración gráfica de la interfaz.

Tabla 3.

Descripción de actividades y estrategias para alcanzar el objetivo 2.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS	ACTIVIDADES	METODOLOGÍA	RESULTADOS POR OBJETIVO	MEDIO DE VERIFICACIÓN	INSUMOS
<ul style="list-style-type: none"> • Diseñar el sistema modular para el desarrollo didáctico de prácticas de Control y Servomecanismos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Diseño del sistema mecánico. • Diseño del sistema electrónico. • Diseño de interfaz gráfica. 	<ul style="list-style-type: none"> • Investigación de campo. • Investigación experimental. • Investigación aplicada. 	Se diseñan los subsistemas del sistema modular por medio de herramientas CAD y entornos de desarrollo gráfico.	Documentación técnica (planos).	<ul style="list-style-type: none"> • Software CAD. • Entornos de desarrollo integrado (IDE).

2.3. Objetivo específico 3 (fase 3):

Esta etapa busca la materialización de los diseños obtenidos. El objetivo es implementar el sistema modular en la bancada de pruebas de servomotores (ver tabla 3), para ello primero se construye cada uno de los subsistemas definidos en la fase 2, empleando técnicas y conocimientos de Ingeniería de la manufactura, Ciencia de los materiales y Automatización industrial.

Dentro de esta sección también se contemplan las pruebas y calibraciones, mismas que se definen por los requerimientos del sistema de control, en la cual el usuario ingresará los parámetros necesarios para accionar los servomotores, además se han de estructurar guías de prácticas de laboratorio y un manual de operaciones de usuario.

Tabla 4.

Descripción de actividades y estrategias para alcanzar el objetivo 3.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS	ACTIVIDADES	METODOLOGÍA	RESULTADOS POR OBJETIVO	MEDIO DE VERIFICACIÓN	INSUMOS
<ul style="list-style-type: none"> • Implementar el sistema modular en la bancada de pruebas de servomotores. 	<ul style="list-style-type: none"> • Construcción del sistema mecánico. • Implementación del sistema electrónico. • Diseño de interfaz gráfica. 	<ul style="list-style-type: none"> • Experimental. 	<p>Se construye e implementa el sistema modular en la bancada de pruebas de servomotores.</p>	<p>Experimental.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Herramientas convencionales de manufactura. • Impresora 3D. • Corte láser. • Torno convencional.

2.4. Objetivo específico 4 (fase 4):

El sistema modular se validará con la ejecución de las prácticas de laboratorio estructuradas en la Guía de Laboratorio presente en el Anexo 5.

Tabla 5.*Descripción de actividades y estrategias para alcanzar el objetivo 4.*

OBJETIVOS ESPECÍFICOS	ACTIVIDADES	METODOLOGÍA	RESULTADOS POR OBJETIVO	MEDIO DE VERIFICACIÓN	INSUMOS
<ul style="list-style-type: none"> • Validar el sistema modular con la ejecución de prácticas de laboratorio con la bancada de pruebas de servomotores AC. 	<ul style="list-style-type: none"> • Ejecutar las prácticas de laboratorio estructuradas en la Guía de Laboratorio. 	<ul style="list-style-type: none"> • Experimental. 	<ul style="list-style-type: none"> • Se valida el sistema modular didáctico para prácticas de control de servomotores con el desarrollo de prácticas de laboratorio. 	<ul style="list-style-type: none"> • Experimental. 	<ul style="list-style-type: none"> • Sistema modular didáctico. • Bancada de pruebas de servomotores.

CAPÍTULO III

3. RESULTADOS

El éxito de un proceso de diseño depende de la correcta implementación de un método, para efectos de este trabajo de titulación, se aplica una metodología híbrida empleada y detallada en [43], que integra herramientas de la Ingeniería Concurrente y la teoría de resolución de problemas de forma inventiva.

3.1. Fase 0 de diseño: Aplicación de TRIZ para especificar el problema:

3.1.1. Análisis del sistema técnico (problema):

Se requiere la construcción e implementación de un sistema modular didáctico para prácticas de servomotores AC en los laboratorios de la Carrera de Ingeniería en Mecatrónica haciendo uso de los servo-sistemas disponibles en la bancada de pruebas de servomotores. Dicho sistema modular será usado por estudiantes de asignaturas como Máquinas eléctricas o Automatización Industrial. Se requiere también un medio de visualización online, para la ejecución de prácticas de laboratorio virtuales.

3.1.2. Declaración de la contradicción técnica:

En esta etapa se relacionan los 40 principios de inventiva TRIZ según Genrich Altshuller, ver Tabla 5, con los requerimientos técnicos del sistema, además se evalúan los 39 criterios de Ingeniería, especificados en la Tabla 6, que maximizarán o beneficiarán al objetivo del diseño.

Tabla 6

Principios de inventiva.

PRINCIPIOS DE INVENTIVA.		
1	Segmentación	Divide un objeto en partes independientes.
2	Extracción	Aislar un componente o característica no deseada.
3	Calidad local	Agregar funcionalidades a componentes diferentes de un objeto.

4	Asimetría	Si un objeto es simétrico, se reemplaza por una forma asimétrica.
5	Combinar	Conjugar en tiempo, funcionalidades que se complementen.
6	Universalidad	Un mismo objeto realizando variadas funciones.
7	Anidación	Un objeto dentro de otro objeto, dentro de otro.
8	Contrapeso	Compensar el peso de un objeto ejerciendo otra fuerza que lo contrarreste.
9	Reacción preliminar	Para lograr una acción se debe prever una reacción contraria.
10	Acción preliminar	Si se necesitara de una acción previa para lograr un objetivo, considere llevarla a cabo con premeditación.
11	Precaución previa	Compensar acciones no deseadas con contramedidas previas.
12	Equipotencialidad	Modificar condiciones de trabajo para beneficiar a procesos subsecuentes.
13	Inversión	En lugar de una acción dictada por las especificaciones del problema, implementar una acción opuesta
14	Esfericidad o curvatura	Reemplazar movimientos, fuerzas o partes lineales a circulares.
15	Dinámica	Partes constitutivas del sistema adaptándose a las condiciones del momento.
16	Acciones parciales	Segmentar el objetivo en tareas pequeñas e intentar cumplir la mayoría de ellas.
17	Otra dimensión	Eliminar movimientos o acciones que necesiten dos o más dimensiones.
18	Vibraciones mecánicas	En vez de hacer vibrar las piezas mecánicas, incluir sistemas de vibración ultrasónicas.
19	Acción periódica	Reemplazar acciones continuas por periódicas.
20	Continuidad acción útil	Procurar no detener una acción que beneficie al sistema.
21	Pasar rápidamente	Saltar acciones de gran riesgo rápidamente.
22	Convertir lo negativo en positivo	Aprovechar lo positivo de una característica negativa.

23	Retroalimentación	Incluir retroalimentación siempre.
24	Mediador	Usar un objeto intermediario para transferir una acción.
25	Autoservicio	Hacer que un objeto ejecute acciones de mantenimiento por sí solo.
26	Copiar	Usar copias o proyecciones sencillas de un objeto que el mismo objeto si resulta muy complejo.
27	Objetos baratos o de corta vida	Reemplazar partes complejas o costosas por otras sencillas y baratas comprometiendo otras características.
28	Sustitución sistemas mecánicos	Reemplazar acciones mecánicas por acústicas, eléctricas o electromagnéticas. (de menos contacto)
29	Neumática e hidráulica	Reemplazar elementos mecánicos por fluidos.
30	Membranas delgadas	Reemplazar sistemas aparatosos por películas delgadas de algún material.
31	Materiales porosos	Si se usa materiales porosos, ocupar esos espacios con algún fluido. Si no se unos materiales porosos, úselos.
32	Cambios de color	Aprovechar propiedades ópticas de un objeto.
33	Homogeneidad	Usar materiales similares o iguales para que su interacción sea ventajosa.
34	Restauración y regeneración de partes	Desechar o modificar una parte que termine su vida útil.
35	Transformación del estado físico y químico de un objeto	Cambiar el estado de un objeto.
36	Transiciones de fase	Implemente un efecto desarrollado durante el cambio de fase de una sustancia.
37	Expansión térmica	Aprovechar la expansión o contracción de un material por cambio de temperatura.
38	Oxidantes fuertes	Mejore las condiciones de oxidación inyectando sustancias que consigan una oxidación fuerte.
39	Atmósferas inertes	Reemplace condiciones reactivas por inertes.
40	Materiales compuestos	Aproveche las propiedades de los materiales compuestos.

Nota: Adaptado de [42]

Tabla 7*Parámetros de Ingeniería según TRIZ*

LOS 39 PARÁMETROS DE INGENIERÍA.							
1	Peso de un objeto móvil	10	Fuerza	20	Energía consumida por un objeto inmóvil	30	Factores nocivos que actúan en un objeto
2	Peso de un objeto inmóvil	11	Tensión, presión.	21	Potencia	31	Efectos nocivos
3	Longitud de un objeto móvil	12	Forma	22	Desperdicio de energía	32	Manufacturabilidad
4	Longitud de un objeto inmóvil	13	Estabilidad de un objeto	23	Desperdicio de sustancia	33	Conveniencia de uso
5	Área de un objeto móvil	14	Fuerza	24	Pérdida de información	34	Reparabilidad
6	Área de objeto inmóvil	15	Durabilidad de un objeto móvil	25	Pérdida de tiempo	35	Adaptabilidad
7	Volumen de objeto móvil	16	Durabilidad de un objeto inmóvil	26	Cantidad de sustancia	36	Complejidad de un dispositivo
8	Volumen de objeto inmóvil	17	Temperatura	27	Fiabilidad	37	Complejidad de control
9	Velocidad	18	Brillo	28	Precisión de medida	38	Nivel de automatización
		19	Energía consumida por un objeto móvil	29	Precisión de manufactura	39	Productividad

Nota: adaptado de [42]

En base al análisis del problema y a los requerimientos de diseño, se establece la tabla de contradicción técnica, ver Tabla 7, en la cual se determinan los criterios de Ingeniería deseables para el diseño del Sistema modular, los parámetros no ventajosos y los principios de inventiva necesarios para solucionar aspectos del proceso de diseño.

Tabla 8*Contradicción técnica.*

MEJORAN LAS CARACTERÍSTICAS	EMPEORAN LAS CARACTERÍSTICAS	PRINCIPIOS DE SOLUCIÓN TRIZ
Parámetros de ingeniería	Parámetros de ingeniería	Principios de Inventiva
#12 Forma.	#37 Complejidad de control.	#1 Segmentación.
#13 Estabilidad de un objeto.	#36 Complejidad de dispositivo.	#3 Calidad Local.
#27 Fiabilidad	#16 Durabilidad de un objeto móvil.	#5 Combinar.
#32 Manufacturabilidad.		#6 Universalidad.
#33 Conveniencia de uso.		#15 Dinámica.
#35 Adaptabilidad.		#23 Retroalimentación.
		#33 Homogeneidad.
		#34 Restauración y regeneración de partes.

3.1.3. *Diseño de estrategia basada en principios de inventiva.*

En esta etapa se definen en la Tabla 8 las acciones, criterios y restricciones que se implementarán en el proceso de diseño, todo con el propósito de cubrir lo máximo posible con los principios de inventiva detectados anteriormente que garantizarán el diseño funcional para el sistema modular didáctico.

Tabla 9*Diseño de estrategias de soluciones TRIZ*

ESTRATEGIAS BASADAS EN LOS PRICIPIOS DE SOLUCIÓN TRIZ		
Principio de inventiva.	¿Por qué?	¿Cómo?
#1 Segmentación.	Garantiza la característica de modularidad.	Buen proceso de diseño mecánico.
#3 Calidad local.	Trabajar con procesos de manufactura y materiales locales se disminuyen los costos de producción.	Adquiriendo materiales disponibles en el mercado local y elaborando las piezas en talleres cercanos.
#5 Combinar.	Los módulos o partes deben tener coherencia y se deben complementar.	Buen proceso de diseño mecánico.
#6 Universalidad.	Dota de versatilidad al sistema.	Buen proceso de diseño mecánico.
#15 Dinámica.	El sistema debe responder a las condiciones dadas en el transcurso del tiempo.	Implementar robustas estrategias de control.
#23 Retroalimentación.	Los estudiantes podrán revisar la respuesta del sistema.	A través de gráficas, cuestionarios e informes de laboratorio.

#33 Homogeneidad.	Para facilidad de diseño y manufactura, todas las piezas serán del mismo material.	Adquiriendo materiales disponibles en el mercado local y elaborando las piezas en talleres cercanos.
#34 Restauración y regeneración de partes.	Las partes intercambiables serán fácilmente replicables para evitar la obsolescencia tecnológica.	Diseño minimalista de piezas. Elaboración de planos de piezas.

3.1.4. *Refinar los principios de solución con una alternativa de diseño.*

Para esta etapa del proceso de diseño se presentan en la matriz morfológica de la Figura 14 las alternativas de solución de acuerdo con los principios de inventiva identificados en la Tabla 6. La integración de TRIZ y el enfoque de la matriz morfológica ayudan al diseñador a transformar una solución muy general, representada en principios de inventiva, a opciones muy específicas considerando también los parámetros de diseño [44]. El uso de la matriz morfológica define la ruta a seguir para el diseño conceptual del sistema modular.

En esta etapa de la metodología, el diseñador será capaz de definir una alternativa de solución que se ajuste a las condiciones externas del diseño. Algunos de los criterios de evaluación que se aplicaron fueron: formas y piezas de difícil manufactura aumentarán costos y tiempo de desarrollo al igual que los componentes o refacciones que no se encuentren en el mercado local; complejas técnicas de control requieren altas prestaciones computacionales, por lo tanto, sofisticados sistemas de control y, la exagerada simplicidad del diseño mecánico de los módulos afecta a la versatilidad del Sistema Modular.

Figura 13

Matriz morfológica.

Principios de solución TRIZ	Parámetros de diseño	Alternativas de solución.		
		1	2	3
#3 Calidad Local #33 Homogeneidad #5 Combinar	Servomecanismo	Sistema de engranajes/ Control de posición, velocidad	Elevador de carga/ velocidad constante	Sistema de posicionamiento radar/control de posición
	Material	PLA	MDF/Madera	Acero
	Cantidad de Módulos	2	3	4
	Unión Servomotor-Módulo	Caja reductora	Acople mecánico	Banda de transmisión
#1 Segmentación #Dinámica	Sistema de control	PC-uC-Servodrive	PC-PLC-Servodrive	GSK 980TDa-Servodrive.
	Técnica de control	Control orientado a campos/ PID	Control de Frecuencia y voltaje	Control directo del par.
	Visualización	Simulación	Video en vivo Cámara WEB	Video pregrabado
	Interfaz	HMI virtual	Interfaz gráfica interactiva	Página WEB
#6 Universalidad #23 Retroalimentación	Accesibilidad	Ethernet	Internet	Bluetooth
	Instrumentación	Encoder	Resolver	

3.2. Fase 1 de Diseño: Definición de la alternativa de solución conceptual:

En base a los resultados obtenidos del análisis y aplicación de la metodología TRIZ y de una matriz morfológica de alternativas, se concluye que, para cubrir las necesidades, requerimientos y contradicciones técnicas se ha de diseñar e implementar un sistema modular robusto y versátil que simule una aplicación industrial de servomotores, un modelo que permita el control de posicionamiento y velocidad angular y lineal. Para ello se contarán con 3 módulos que se conectarán con acoples mecánicos y bandas de transmisión. El subsistema de control se basará en una arquitectura PC – PLC – Servosistema, los parámetros de control de posición y velocidad serán gestionados desde un HMI virtual programado en el PC.

El video de dicha pantalla y su accesibilidad online será posible gracias a un software de transmisión de video en vivo, así se cubrirá la necesidad del monitoreo en línea y la gestión del HMI de manera virtual.

3.2.1. Despliegue de la función de calidad de la solución conceptual.

La importancia del análisis QFD radica en determinar los requerimientos del sistema, tanto para el cliente como para el equipo de diseño y desarrollo, define el nivel de prioridad de las necesidades y expectativas, lo que será determinante para satisfacerlas total o parcialmente [45]. A través de la ponderación del peso de las cualidades demandadas del cliente y de fijar la correlación existente entre las cualidades funcionales o “cómo’s” de la matriz HOQ, se han determinado los requerimientos de mayor y menor relevancia o “especificaciones objetivo” los cuales se observan en la Figura 15.

Figura 14

Matriz de ponderación de importancia de requerimientos.

Row #	Max Relationship Value in Row	Relative Weight	Weight / Importance	Quality Characteristics (a.k.a. "Functional Requirements" or "Hows")		Diseño	Funcionalidad	Peso	Materiales	Costo	Estética	Manufactura
				Demanded Quality (a.k.a. "Customer Requirements" or "Whats")								
1	9	13,2	5,0	Robusto		▲	▲	⊖	⊖	⊖	○	⊖
2	9	13,2	5,0	Versátil		⊖	⊖	▲	▲	▲	▲	▲
3	9	13,2	5,0	Modular		⊖	⊖	▲	○	⊖	⊖	○
4	9	10,5	4,0	Económico		▲	▲	▲	⊖	⊖	○	⊖
5	9	13,2	5,0	Fácil de usar (intuitivo)		⊖	⊖	▲	▲	▲	○	▲
6	9	7,9	3,0	Reparación o restauración de partes		⊖	⊖	▲	⊖	⊖	○	⊖
7	9	10,5	4,0	Compacto		⊖	▲	⊖	▲	▲	⊖	○
8	9	7,9	3,0	Liviano		⊖	▲	⊖	⊖	○	▲	▲
9	9	10,5	4,0	Estético		⊖	▲	▲	⊖	▲	⊖	▲

Nota: Se emplea el formato encontrado en [46]

Se concluye que son cuatro los requerimientos del cliente en los cuales se debería enfocar el proceso de desarrollo del Sistema Modular Didáctico, los cuales son:

- Robustez.

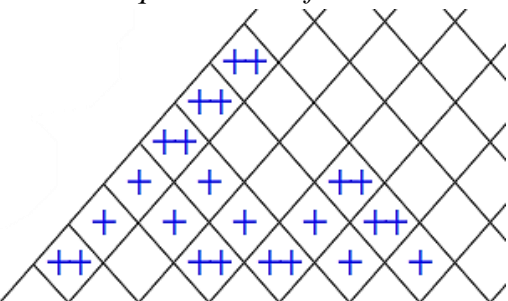
- Versatilidad.
- Modular.
- Intuitivo.

Además, el análisis de la ponderación de importancia de los requerimientos funcionales o “cómo’s”, como se evidencia en la Figura 16, se obtiene como especificaciones objetivo:

- Diseño: buena visualización de desplazamiento.
- Materiales: PETG - MDF - ASTM A 36.

Figura 15

Matriz de ponderación de importancia de requerimientos funcionales.



Column #	1	2	3	4	5	6	7
Direction of Improvement: Minimize (▼), Maximize (▲), or Target (x)	X	▲	▼	▲	▼	X	▼
Quality Characteristics (a.k.a. "Functional Requirements" or "Hows")	Diseño	Funcionalidad	Peso	Materiales	Costo	Estética	Manufactura
Demanded Quality (a.k.a. "Customer Requirements" or "Whats")							
Target or Limit Value	Buena visualización de movimiento.	Correcta ejecución de desplazamientos.	7 - 12 kg	PETG - MDF - ASTM A 36	200 dólares.	Modelo llamativo para estuantes.	Factible de manufacturar.
Difficulty (0=Easy to Accomplish, 10=Extremely Difficult)	3	7	8	5	5	8	7
Max Relationship Value in Column	9	9	9	9	9	9	9
Weight / Importance	710,5	478,9	352,6	526,3	473,7	463,2	400,0
Relative Weight	20,9	14,1	10,4	15,5	13,9	13,6	11,7

Nota: Se emplea el formato encontrado en [46]

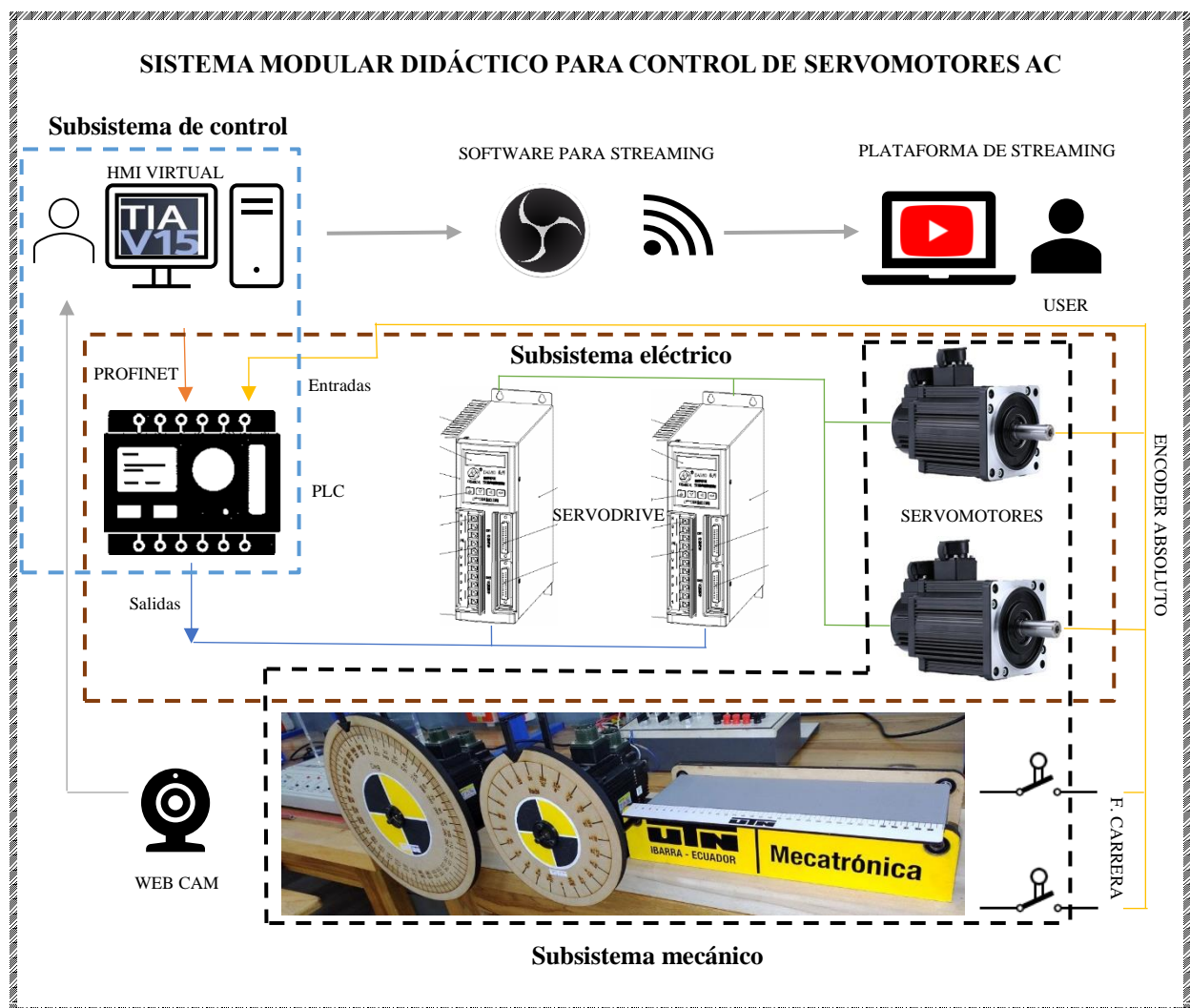
En el despliegue de la función de calidad se omite el análisis de competencia debido a la falta de referentes en el mercado local.

3.3. Fase 2 de Diseño: Nivel de sistema:

La arquitectura del laboratorio remoto basado en el Sistema Modular Didáctico presenta tres subsistemas, mismos que se observan en la Figura 17, los cuales son: S. de control, S. eléctrico y S. mecánico.

Figura 16

Arquitectura del sistema.



3.4. Fase 3 de Diseño: Nivel de detalle:

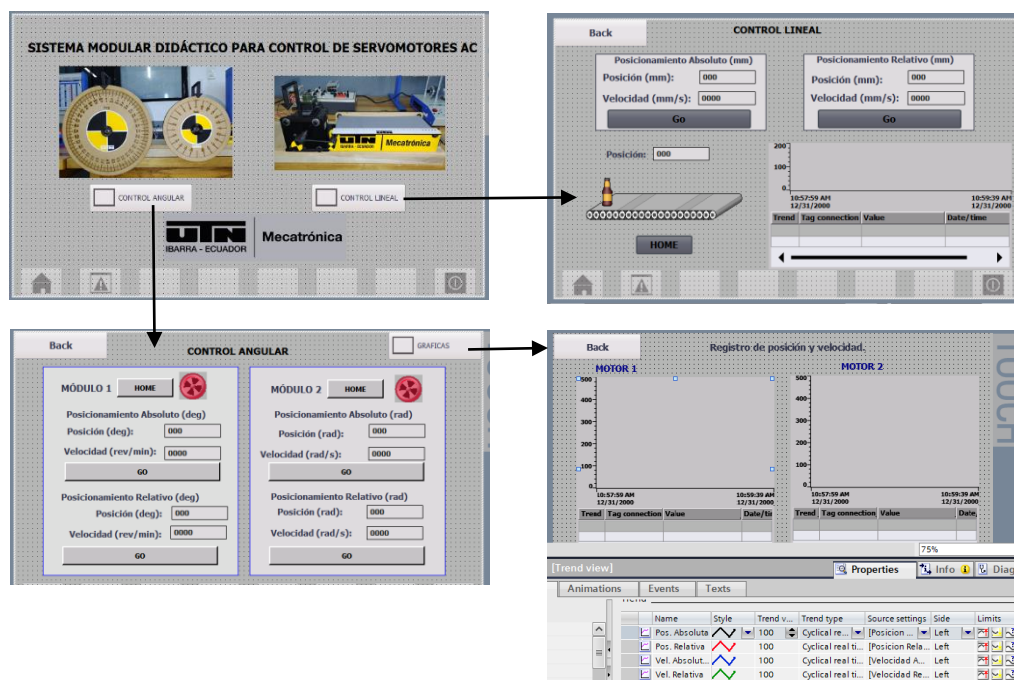
3.4.1. Subsistema de control.

El subsistema de control contempla una API de nivel alto, como lo es el software TIA PORTAL V15, mismo que permite la configuración, programación y simulación de un HMI virtual con el cuál el usuario será capaz de interactuar con el sistema, este presenta cuatro ventanas que contendrán las funciones de: desplazamientos angulares absolutos y relativos, desplazamientos lineales y gráficas de tendencia de procesos como se observa en la Figura 18. El programa que gobernará las acciones de control del PLC será desarrollado en el mismo software, haciendo uso del lenguaje gráfico *Ladder* y de los “objetos tecnológicos” que básicamente son herramientas que brinda la familia de programadores lógicos de Siemens para la correcta y sencilla configuración de ejes.

El entorno de desarrollo del mencionado software ofrece bloques de programación e instrucciones que facilitan la creación del código, por lo que es factible desarrollar un sistema de control y monitoreo con el mencionado software.

Figura 17

Ventanas del HMI virtual.



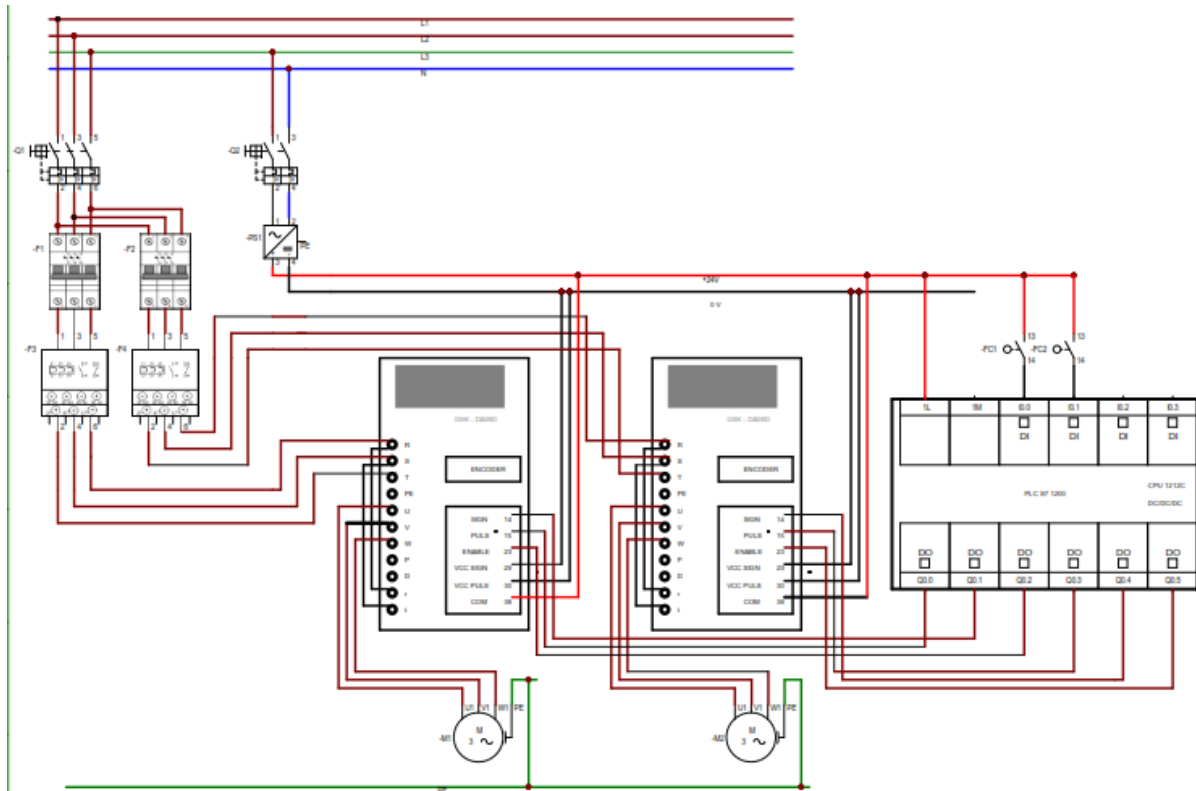
3.4.2. Subsistema eléctrico.

El subsistema eléctrico básicamente consta de elementos de potencia y de control eléctrico, dispositivos que se encuentran instalados en la “Bancada de pruebas de Servomotores”. El circuito de control eléctrico se basa en tres elementos indispensables: el controlador lógico programable, el servodrive y el servomotor.

El PLC S7-1200 en su modelo de CPU 1212C brinda la capacidad de gestionar cuatro señales tipo PWM o PTO, dos a una frecuencia de 100 kHz y dos a 30 kHz, además de ofrecer 6 salidas digitales. Dichas características son necesarias y suficientes para controlar el servodrive. El servodrive GSK DA98D tiene dos configuraciones de funcionamiento, control de velocidad y control de posición, ideales para aplicaciones industriales CNC, ofrece una operación en lazo cerrado y abierto con lo cual se tiene una gran versatilidad y un sinnúmero de operaciones.

El servomotor GSK 110 SJT es una máquina eléctrica síncrona de altas prestaciones, es capaz de mantener un alto par a velocidad cero, proporcionando un alto rendimiento tanto a altas como a bajas revoluciones. Su arquitectura permite una alta capacidad de respuesta, haciéndolo ideal para aplicaciones de control de velocidad y posicionamiento preciso.

Los dispositivos electrónicos mencionados anteriormente serán conectados como lo indica el plano eléctrico (ver Figura 19) diseñado para control de posición de dos servomotores, los parámetros y demás configuraciones se encuentran detallados en el Manual de usuario del sistema modular, ambos documentos disponibles en los Anexos 3 y 4 respectivamente.

Figura 18*Circuito de control eléctrico.*

Nota: El diseño del circuito eléctrico se desarrolló en el software libre CADe_SIMU.

3.4.3. Subsistema mecánico

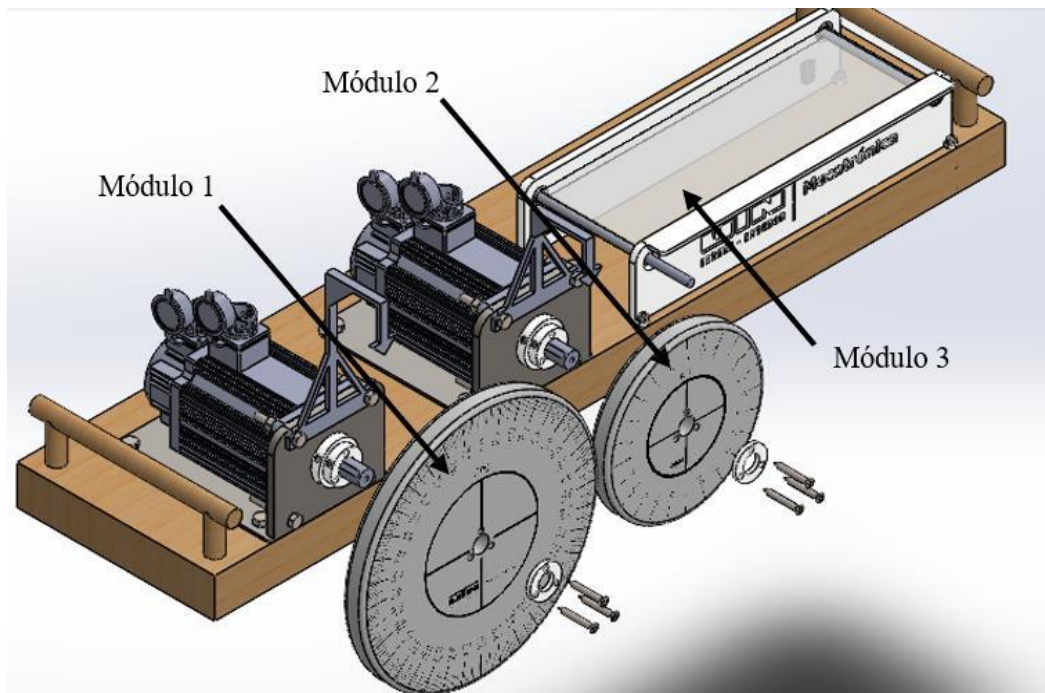
El diseño del sistema modular busca una interacción sensorial con el estudiante y, según el análisis del despliegue de la función de la calidad, es muy importante evidenciar un correcto y preciso desplazamiento angular, esto se logra a partir de un buen proceso de diseño y modelado 3D. Para ello se diseñó las piezas mecánicas que constituirán tres módulos empleando software de diseño mecánico como se evidencia en la Figura 20. Los dos servirán para experimentar desplazamientos angulares, el primer módulo está graduado en grados sexagesimales mientras que el segundo en radianes, la graduación en dos escalas diferentes dota de versatilidad al sistema, al poderlo emplear bajo diferentes sistemas de medición.

El tercer módulo se enfoca en un sistema de transmisión que transforma y transmite el movimiento angular del servomotor en un movimiento lineal a una banda transportadora. Para poder emplearlo se debe desmontar el módulo 2 e instalar la banda dentada GT2 de 400 mm,

el montaje y desmontaje de las piezas se encuentra detallado en el Manual de Usuario. Los planos mecánicos de las piezas empleadas en el sistema modular se encuentran documentados en el Anexo 2 así como las respectivas hojas de proceso en el Anexo 6.

Figura 19

Modelo mecánico del Sistema modular didáctico.



Nota: El modelado mecánico fue realizado en el software SolidWorks Educational.

3.5. Fase 0 de Manufactura. Planeación:

3.5.1. *Identificar restricciones de producción.*

El modelo de la base de los servomotores es realizado con acero ASTM A-36 y consta de procesos de manufactura que requiere precisión para una correcta sujeción y disminución de vibraciones, la restricción es su nula adaptabilidad para acoplarse a diferentes modelos de servomotores, por lo que, su producción en serie o en masa solo sería posible para modelos de servomotores similares al del 110 SJT.

3.6. Fase 1 de Manufactura. Desarrollo del concepto:

3.6.1. *Manufactura aditiva.*

El término "manufactura aditiva" abarca una variedad de tecnologías de fabricación que ayudan a crear productos capa por capa, permitiendo la pronta materialización de objetos en 3D. El Comité Técnico ASTM F42, responsable de supervisar el desarrollo de estándares de la manufactura aditiva, define la tecnología como " un proceso de combinación de materiales para crear objetos a partir de datos de modelos tridimensionales " opuesto a las técnicas producción sustractiva [47].

La ciencia de los materiales es importante para el desarrollo de nuevas técnicas de manufactura, su auge aún no está presente en la industria de la fabricación avanza puesto que esta muestra preferencia por el uso de metales debido a las propiedades mecánicas que ofrecen. Pero, el empleo de tecnologías de manufactura aditiva es ampliamente utilizadas en procesos de prototipado rápido. La fotopolimerización, impresión 3D o corte láser son técnicas que reducen el precio y el tiempo de manufactura [48].

Dicho todo lo anterior y refiriéndose al proceso de calificación y la metodología de diseño, es justificado el empleo de tecnologías que agilicen y economicen la materialización del modelo.

3.7. Fase 2 de Manufactura. Selección de materiales y procesos:

A través de un proceso de selección de materiales con filtros de propiedades mecánicas y consideraciones del mercado y la industria de la manufactura local, se determinó que los procesos de fabricación idóneos son los detallados en la Tabla 9.

Tabla 9

Resultados del proceso de selección de materiales y procesos de manufactura.

Módulo	Pieza	Material	Proceso de manufactura.
1	Base	ASTM A-36	Soldadura GMAW/SMAW
	Adaptador radial	PET-G	Impresión 3D
	Indicador	PET-G	Impresión 3D
	Rueda graduada	MDF/madera	Corte láser
2	Base	ASTM A-36	Soldadura GMAW/SMAW
	Adaptador radial	PET-G	Impresión 3D
	Indicador	PET-G	Impresión 3D
	Rueda graduada	MDF/madera	Corte láser
3	Cara anterior	MDF/madera	Corte láser
	Cara posterior	MDF/madera	Corte láser
	Polea dentada 1	PET-G	Impresión 3D
	Polea dentada 2	PET-G	Impresión 3D

Nota: la lista de materiales completa se encuentra detallada en los Planos mecánicos

disponible en el Anexo 2.

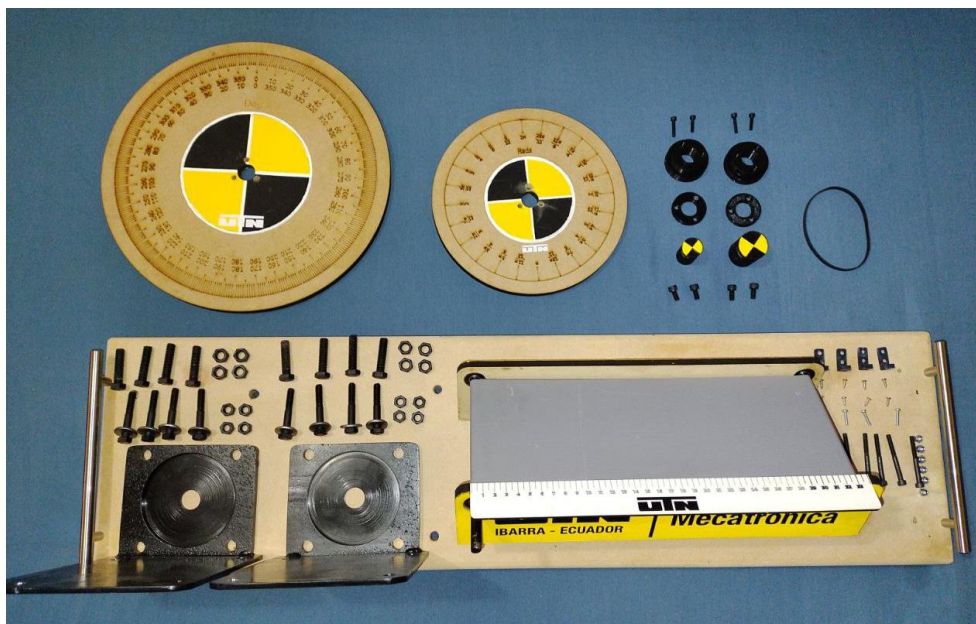
3.8. Fase 3 de Manufactura. Ensamblaje e implementación:

3.8.1. Definir esquema de ensamblaje.

La concepción de todas las piezas y la adquisición de los elementos mecánicos comerciales se evidencian en la Figura 21. Su manufactura toma en cuenta factores como el recambio y la regeneración de partes por lo que, debido al limitado ciclo de vida de piezas fabricadas en PET-G, se recomienda una inspección rutinaria y cuando se necesite, realizar un recambio imprimiendo el modelo necesario desde: https://utneduec-my.sharepoint.com/:f/g/personal/csarevaloc1_utn_edu_ec/EivA0cVyVLNIuZn6lvOznu0B2WY93ZNCngeHSyfgxMpRIA?e=BZAj40.

Figura 20

Despiece del Sistema modular didáctico.



Los planos mecánicos disponibles en el Anexo 2, indican claramente la posición de cada pieza en el ensamblaje, sin embargo, en el Manual de usuario en el Anexo 4, se detalla cómo realizar el correcto intercambio de partes y la instalación de las piezas desmontables de los módulos 2 y 3. El proceso de torneado en las bases metálicas permite una buena sujeción de los servomotores, por lo que, su instalación es sencilla e intuitiva como se muestra en la

Figura 22. La Figura 23 indica el sistema modular implementado y siendo experimentado por un estudiante de la materia de Automatización Industrial.

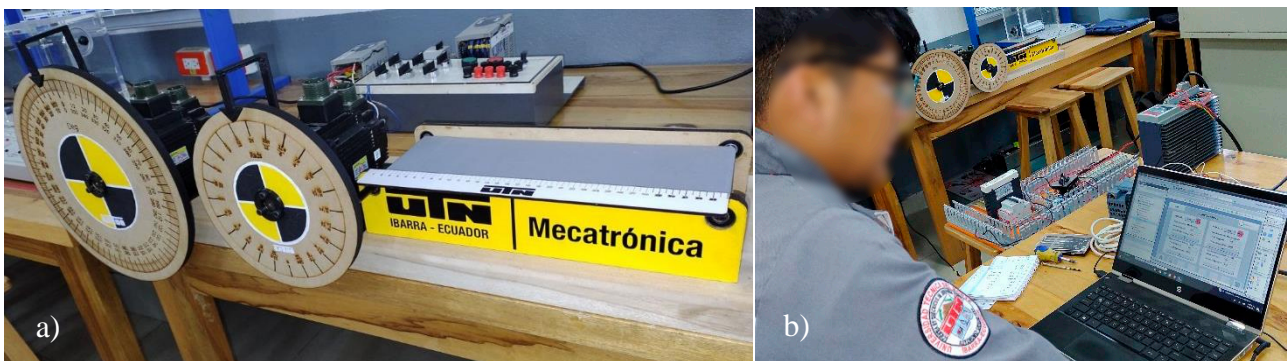
Figura 21

Conjunto: base, servomotor y rueda graduada instalada.



Figura 22

Sistema modular implementado.



Nota: a) Sistema modular didáctico implementado. b) Estudiante empleando el sistema modular mediante la HMI virtual.

3.9. Pruebas.

El Anexo 5 corresponde a la Guía de Prácticas de Laboratorio basada en el Sistema modular didáctico, en el cual se propone el desarrollo de tres ejercicios prácticos relacionados a aplicaciones industriales con el uso de servomotores AC.

3.9.1. *Práctica de laboratorio 1: Control de posición y velocidad angular de servomotores.*

Esta práctica tiene el objetivo de explorar las diversas funcionalidades del sistema modular a través del HMI virtual, básicamente son ejercicios introductorios para familiarizarse e interactuar con el Sistema. Se busca controlar la posición y velocidad angular de los ejes disponibles en la Bancada de pruebas y obtener un registro de movimientos ejecutados que brinda la ventana de tendencia de proceso del HMI.

El estudiante deberá seguir las indicaciones de la guía de laboratorio, en este caso se debe ingresar y ejecutar los posicionamientos con los datos de la Tabla 10 en las ventanas correspondientes.

Tabla 10

Posiciones y velocidades angulares para seguir.

Módulo	T. movimiento	N °	Posición	Velocidad
1	Absoluto	1	90 deg	60 rev/min
		2	270 deg	30 rev/min
	Relativo	3	- 45 deg	90 rev/min
		4	360 deg	10 rev/min
2	Absoluto	5	$\pi/2$ rad	2π rad/s
		6	$-5\pi/6$ rad	4π rad/s
	Relativo	7	$5\pi/3$ rad	$\pi/2$ rad/s
		8	2π	π rad/s

Figura 23

Estudiante de 7mo nivel ejecutando la práctica de laboratorio 1.



En el reporte de resultados se deben adjuntar los cálculos necesarios que justifiquen que, la última posición angular que adoptaron los Módulos 1 y 2, sean coherentes con los datos que se han proporcionado en la Tabla 10. En el caso de la ejecución de desplazamientos en una escala absoluta, se toma el último valor dado para después sumar o restar los valores de desplazamiento relativo solicitados como se detalla en la Tabla 11.

Tabla 11

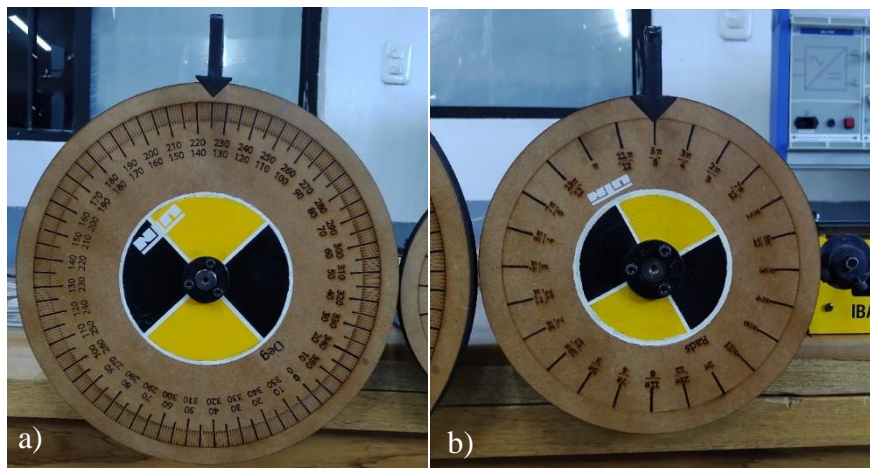
Cálculo de las posiciones finales de los módulos 1 y 2.

Módulo	T. movimiento	Valor
1	Absoluto	270 °
	Relativo	-45°
	Relativo	+360°
	Posición final	585°
	Posición final visible	225°
2	Absoluto	-5pi/6 rad
	Relativo	5pi/3 rad
	Relativo	2pi rad
	Posición final	17pi/6 rad
	Posición final visible	5pi/6 rad

La posición angular de los módulos 1 y 2 deberían coincidir con los valores obtenidos en la Tabla 11, para demostrarlo se muestra en la Figura 25 la posición angular final de los módulos.

Figura 24

Posición final de los módulos 1 y 2.

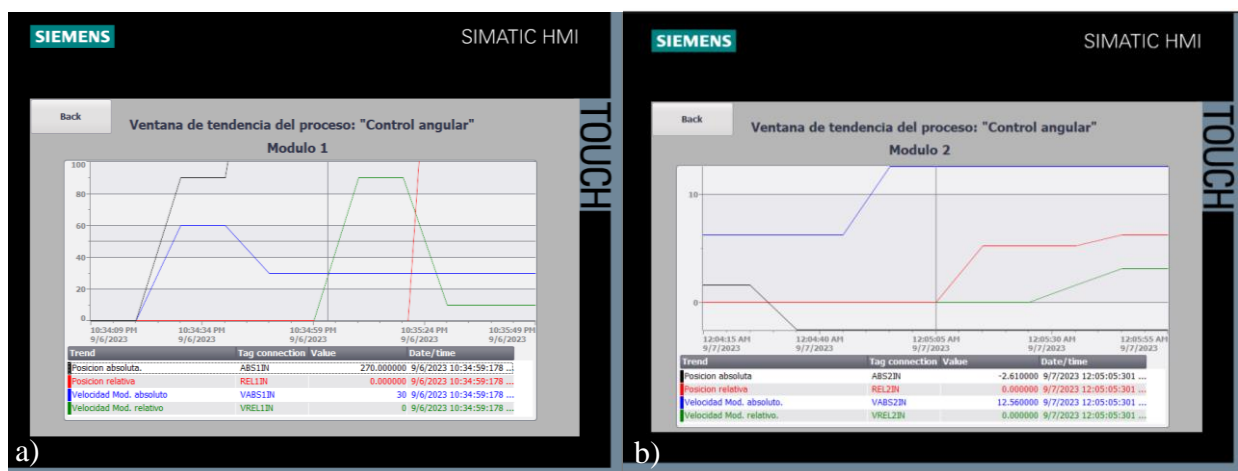


Nota: a) se muestra el módulo 1 en la posición 225° b) se muestra el módulo 2 en la posición $5\pi/6$ rad.

Para culminar con la primera práctica de laboratorio, se solicita una captura de pantalla en la cual se logre visualizar la ventana de tendencia del proceso en el HMI, misma que garantiza que se hayan seguido correctamente los desplazamientos angulares (ver Figura 26).

Figura 25

Ventana de tendencia del proceso de la práctica de laboratorio 1.



Nota: a) Visor de curvas del módulo 1 b) visor de curvas del módulo 2.

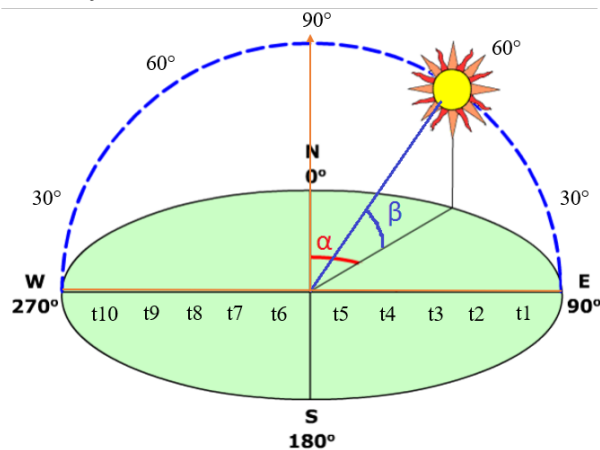
3.9.2. Práctica de laboratorio 2: Seguimiento solar a dos ejes.

Esta práctica representa una aplicación industrial real de posicionamiento de servomotores, el objetivo es simular el movimiento de dos ejes de un posicionador solar tipo radar. El seguidor solar a dos ejes cuenta con dos grados de libertad y es capaz de realizar un seguimiento total de la trayectoria del sol, tanto en inclinación como en azimut, su rendimiento superior frente al seguidor de un solo eje lo hace una solución viable en el aprovechamiento energético, aunque su costo podría ser elevado.

En la Figura 27 se muestra la trayectoria solar, el estudiante deberá abstraer la información necesaria (pares ordenados) para replicar su movimiento con los dos servomotores disponibles en el Sistema modular, por lo tanto, la velocidad de ambos módulos debe ser igual y, mientras uno de ellos describe un movimiento constante de hasta 180° , el otro deberá llegar a un ángulo de elevación máxima y luego regresar.

Figura 26

Trayectoria solar de referencia.



Nota: Adaptado de [49].

La cantidad de posiciones angulares reportadas en la Tabla 12 dependerá del estudiante, sin embargo, se recomienda realizar mínimo cinco desplazamientos. El modo de operación también será de afinidad del estudiante.

Tabla 12

Posiciones y velocidades angulares para seguir.

Módulo	T. movimiento	N °	Posición	Velocidad
1	Absoluto	1	30 deg	30 rev/min
		2	60 deg	30 rev/min
		3	90 deg	30 rev/min
		4	60 deg	30 rev/min
		5	30 deg	30 rev/min
2	Absoluto	1	pi rad	pi/12 rad/s

Figura 27

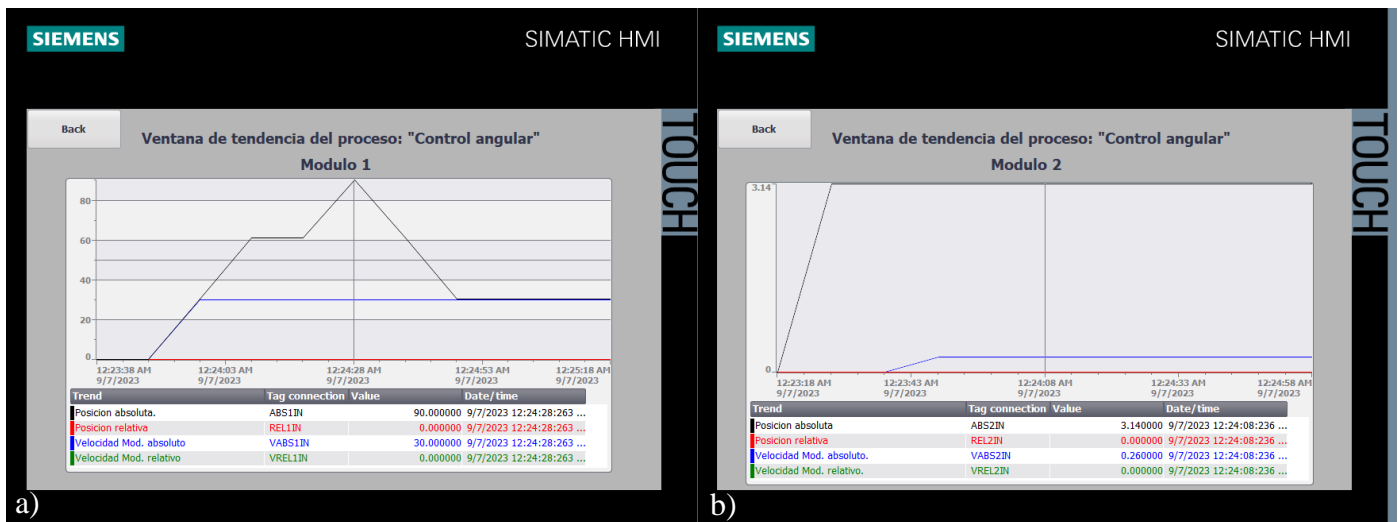
Estudiante egresado ejecutando la práctica de laboratorio 2.



Para culminar con la segunda práctica de laboratorio, se solicita una captura de pantalla en la cual se logre visualizar la ventana de tendencia del proceso en el HMI, misma que garantiza que se hayan seguido correctamente los desplazamientos angulares reportados en la Tabla 12 (ver Figura 29).

Figura 28

Ventana de tendencia del proceso de la práctica de laboratorio 2.



Nota: a) Visor de curvas módulo 1 b) Visor de curvas módulo 2.

3.9.3. Práctica de laboratorio 3: Control de posición y velocidad lineal.

Para la ejecución de la presente práctica de laboratorio se necesita desmontar el módulo 2 e instalar el número 3, el proceso de montaje está detallado en el Manual de Usuario disponible en el Anexo 4. La presente práctica de laboratorio busca ejecutar desplazamientos lineales con la banda transportadora del sistema modular. En la tabla 13 se muestran los datos que serán ingresados en la ventana de “Control Lineal”.

Tabla 13

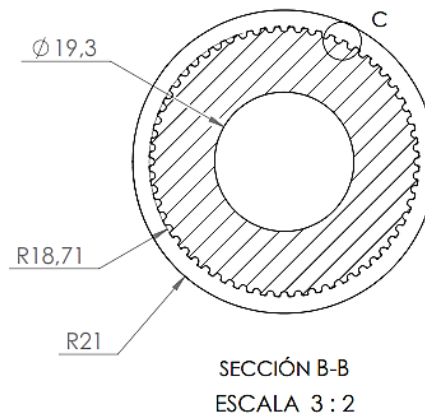
Posiciones y velocidades lineales para seguir.

Módulo	T. movimiento	N °	Posición	Velocidad
3	Absoluto	1	-150 mm	50 mm/s
		2	100 mm	30 mm/s
	Relativo	3	-150 mm	70 mm/s
		4	50 mm	10 mm/s

Los datos ingresados son procesados en el programa principal del controlador, se calcula el desplazamiento lineal en base a las dimensiones de las poleas dentadas (véase en la Figura 30) como se indica en (6).

Figura 29

Dimensiones de la polea dentada.



Nota: el plano mecánico SMD-UTN-011 completo se detalla en el Anexo 2

$$S = \theta * r \quad (6)$$

$$r = 9,35 \text{ mm}$$

$$\theta = 2\pi \text{ rad}$$

$$S = 2\pi * 9,35$$

$$S = 58,74 \text{ mm}$$

Consecuentemente se calcula la posición final del indicador de la banda transportadora en la Tabla 14, posterior a que el estudiante realizara la práctica de laboratorio 3 como se indica en la Figura 31, se reporta en Resultados una fotografía del módulo 3 (Figura 32) y una de la ventana Control lineal (Figura 33) para determinar mediante la gráfica de tendencia del proceso el correcto procedimiento.

Tabla 14

Cálculo de las posiciones finales de los módulos 1 y 2.

Módulo	T. movimiento	Valor
3	Absoluto	100 mm
	Relativo	-150 mm
	Relativo	+50 mm
	Posición final	0 mm
	Posición final visible	0 mm

Figura 30

Estudiante de octavo nivel de la Carrera de Ingeniería en Mecatrónica realizando la práctica de laboratorio 3.

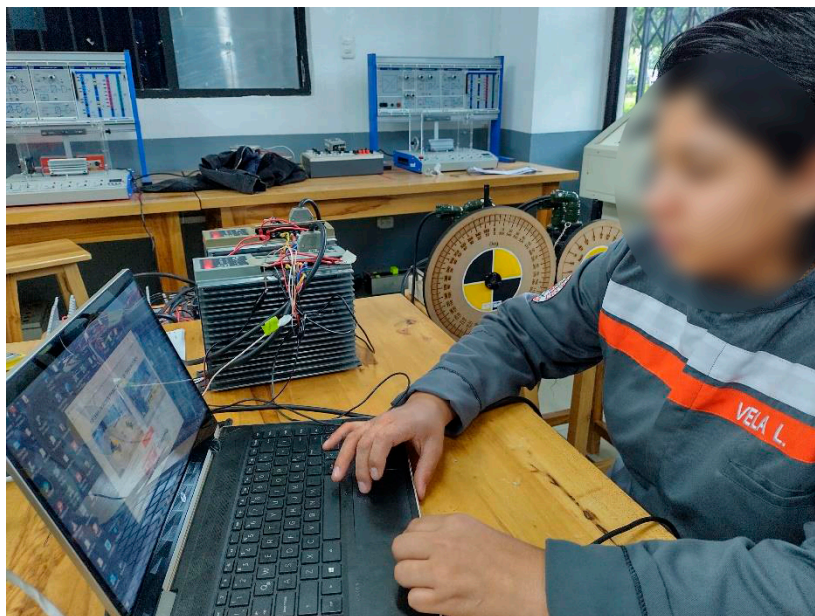


Figura 31

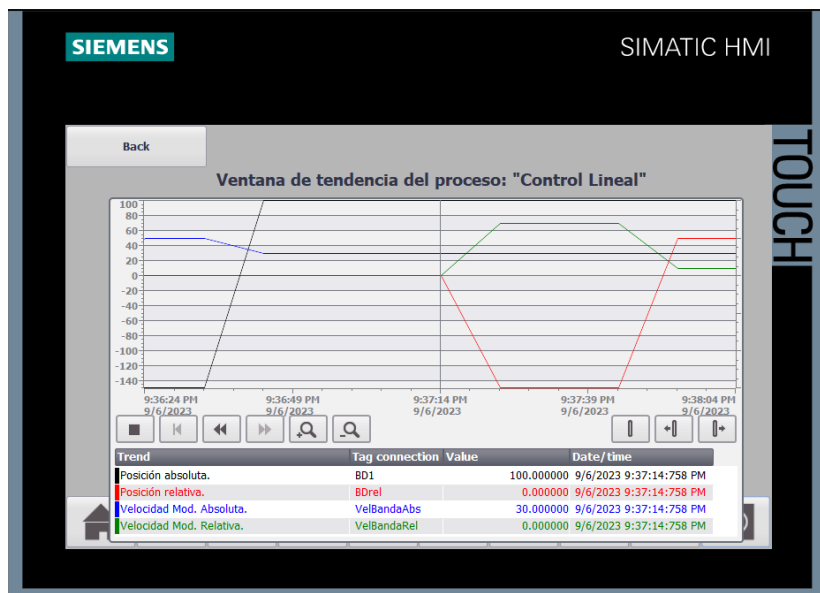
Módulo 3 posterior a la práctica de laboratorio 3



Nota: el indicador del módulo 3 indica la posición final de 0 mm.

Figura 32

Ventana de tendencia del proceso "Control lineal" posterior a la práctica de laboratorio 3



Nota: Las trayectorias muestran los valores insertados en la ventana "Control Lineal", la tabla detalla el color y la variable del PLC en la que se está almacenando.

3.10. Análisis de resultados.

Posterior a la ejecución de las prácticas de laboratorio estructuradas en el Anexo 5, se ha hecho uso del instrumento de investigación mencionado en la metodología. La entrevista disponible en el Anexo 7 se aplicó en estudiantes y busca evaluar cualitativamente el desempeño del sistema modular didáctico bajo cinco características-objetivo determinadas en el proceso del diseño conceptual.

3.10.1. Pregunta 1.

Se determinó que las guías de laboratorio están correctamente estructuradas, además que están detalladas suficientemente para cumplir los objetivos propuestos sin dificultad, mismos que todos los estudiantes entrevistados alcanzaron.

3.10.2. Pregunta 2.

Los estudiantes mencionaron que, las piezas y partes del sistema mecánico se instalan fácilmente, cada una cumpliendo con su rol de diseño específico.

3.10.3. Pregunta 3.

Las entrevistas concluyeron que el HMI implementado es interactivo porque además de controlar las variables del sistema, muestra gráficas y animaciones que facilitan el seguimiento y la retroalimentación del proceso.

3.10.4. Pregunta 4.

El sistema modular es didáctico porque a través de este, se logra comprender la automatización de servosistemas a través de un PLC así como la programación y configuración de parámetros necesarios para llevar a cabo desplazamientos angulares y lineales con servomotores.

3.10.5. Pregunta 5.

Los entrevistados afirman que el sistema modular es un recurso pedagógico recomendable en el ejercicio de enseñanza-aprendizaje de asignaturas como Servomecanismos,

Máquinas eléctricas y Automatización Industrial porque es versátil en cuanto su capacidad de adaptación para simular diferentes y variados experimentos.

CAPÍTULO IV

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

- El sistema modular didáctico para prácticas de control de posición y velocidad de servomotores AC permite la ejecución de experimentos y prácticas de laboratorio empleando los servosistemas GSK DA98D gestionados por un PLC S7-1200.
- Las ventanas del HMI virtual brindan versatilidad al sistema modular para el control de posición y velocidad angular de los ejes, el cual presenta animaciones y gráficas que registran los movimientos de los servomotores respecto del tiempo.
- El amplio uso industrial de servomotores AC en la industria de la manufactura ha motivado el desarrollo de técnicas avanzadas de control, el FOC permite mantener y maximizar el torque a partir del control de los campos del estator y del rotor.
- El sistema modular complementa la bancada de pruebas de servomotores instalada en los laboratorios de la Universidad Técnica del Norte, brindando versatilidad y múltiples modos de experimentación.

4.2. Recomendaciones

- Se recomienda desarrollar un servidor web para mejorar la conectividad a distancia con el pc del sistema modular.
- La implementación de mayor número de sensores aportaría versatilidad al sistema modular y diversificaría el tipo de experimentaciones y prácticas de laboratorio.
- Emplear materiales con mejores propiedades mecánicas aumentaría la resistencia de las piezas y la robustez del modelo.

Bibliografía

- [1] W. Bolton, *Mecatrónica*. Alpha Editorial, 2017. [Online]. Available: <https://books.google.com.ec/books?id=b6FxEAAAQBAJ>
- [2] F. R. Cortés, J. Cid, and E. Vargas, *Mecatrónica: Control y automatización*. Alpha Editorial, 2013. [Online]. Available: <https://books.google.com.ec/books?id=cOt1EAAAQBAJ>
- [3] G. Garcés and C. Peña, “Ajustar la Educación en Ingeniería a la Industria 4.0: Una visión desde el desarrollo curricular y el laboratorio,” *Revista de Estudios y Experiencias en Educación*, vol. 19, no. 40, pp. 129–148, Aug. 2020, doi: 10.21703/rexe.20201940garces7.
- [4] O. Aguilar Mejía, R. Tapia Olvera, I. de J. Rivas Cambero, and H. Minor Popocalt, “Adaptive Speed Controller for a Permanent Magnet Synchronous Motor,” *Nova Scientia*, vol. 11, no. 22, pp. 142–170, May 2019, doi: 10.21640/ns.v11i22.1614.
- [5] H. Ghanayem, M. Alathamneh, and R. M. Nelms, “Three-phase PMSM vector control using decoupled flux and speed controller,” *Energy Reports*, vol. 9, pp. 645–652, May 2023, doi: 10.1016/j.egy.2023.03.090.
- [6] A. Hughes and B. Drury, Eds., “Front Matter,” in *Electric Motors and Drives (Fourth Edition)*, Boston: Newnes, 2013, p. iii. doi: <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-098332-5.01001-9>.
- [7] X. Liu, H. Yu, J. Yu, and L. Zhao, “Combined Speed and Current Terminal Sliding Mode Control with Nonlinear Disturbance Observer for PMSM Drive,” *IEEE Access*, vol. 6, pp. 29594–29601, May 2018, doi: 10.1109/ACCESS.2018.2840521.
- [8] R. Krishnan, *Switched Reluctance Motor Drives: Modeling, Simulation, Analysis, Design, and Applications*. in Industrial Electronics. CRC Press, 2017. [Online]. Available: <https://books.google.com.ec/books?id=mW2zm2mvQRYC>
- [9] N. Mohan, *Advanced Electric Drives*. Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, Inc., 2014. doi: 10.1002/9781118910962.
- [10] W. D. Cuji and D. Arcos Avilés, “Control Directo al Par y Control de Campo Orientado para un Motor Síncrono de Imanes Permanentes,” *Ingeniería*, vol. 24, no. 2, May 2019, doi: 10.14483/23448393.14142.
- [11] T. Yuan, Y. Zhang, and D. Wang, “Performance improvement for PMSM control system based on composite controller used adaptive internal model controller,” *Energy Reports*, vol. 8, pp. 11078–11087, Nov. 2022, doi: 10.1016/j.egy.2022.08.257.
- [12] Y. Bonnassieux and H. Abou-Kandil, “ROBUST MULTI-MODEL CONTROL OF A SYNCHRONOUS SERVOMOTOR USING SIMULATED ANNEALING ALGORITHM,” 2002. [Online]. Available: www.elsevier.com/locate/ifac
- [13] C. Platt, “Encyclopedia of Electronic Components Volume 1,” *Network Security*, vol. 2012, no. 12, p. 4, 2012, doi: [https://doi.org/10.1016/S1353-4858\(12\)70110-1](https://doi.org/10.1016/S1353-4858(12)70110-1).
- [14] Anaheim Automation, “Encoders Guide,” 2021.

- [15] GSK CNC Equipment Co, “DA98D Digital AC Servo Drive Unit User Manual,” Guanzhou, 2007.
- [16] GSK, “CNC SYSTEM CATALOGUE.” Guangzhou, 2012.
- [17] GSK CNC EQUIPMENT, “Servo Motor de CA GSK serie SJT,” 2007.
- [18] R. Madurai Elavarasan and R. Pugazhendhi, “Restructured society and environment: A review on potential technological strategies to control the COVID-19 pandemic,” *Science of the Total Environment*, vol. 725, Jul. 2020, doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.138858.
- [19] R. A. Abumalloh *et al.*, “The impact of coronavirus pandemic (COVID-19) on education: The role of virtual and remote laboratories in education,” *Technol Soc*, vol. 67, Nov. 2021, doi: 10.1016/j.techsoc.2021.101728.
- [20] U. Paola Torres Maldonado, G. Feroz Khan, J. Moon, and J. Jeung Rho, “E-learning motivation and educational portal acceptance in developing countries,” *Online Information Review*, vol. 35, no. 1, pp. 66–85, Jan. 2011, doi: 10.1108/14684521111113597.
- [21] M. S. Rahman, N. C. Peeri, N. Shrestha, R. Zaki, U. Haque, and S. H. A. Hamid, “Defending against the Novel Coronavirus (COVID-19) outbreak: How can the Internet of Things (IoT) help to save the world?,” *Health Policy Technol*, vol. 9, no. 2, pp. 136–138, Jun. 2020, doi: 10.1016/j.hlpt.2020.04.005.
- [22] G. Lavigne, G. Gutiérrez Ruiz, L. McAnally-Salas, and J. Organista Sandoval, “Log Analysis in a Virtual Learning Environment for Engineering Students,” *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, vol. 12, no. 3, pp. 113–128, 2015, doi: 10.7238/rusc.v12i3.2162.
- [23] V. Potkonjak *et al.*, “Virtual laboratories for education in science, technology, and engineering: A review,” *Comput Educ*, vol. 95, pp. 309–327, Apr. 2016, doi: 10.1016/j.compedu.2016.02.002.
- [24] J. D. Velosa-García, F. J. Castillo-García, E. Espíldora, and L. Cobo, “Requerimientos para laboratorios híbridos en Ingeniería de Manufactura,” *DYNA (Colombia)*, vol. 84, no. 203, pp. 65–74, Dec. 2017, doi: 10.15446/dyna.v84n203.61495.
- [25] UNILabs, “University Network of Interactive Laboratories,” *Luis de la Torre*. <https://unilabs.dia.uned.es/> (accessed Sep. 10, 2023).
- [26] D. Vergara, P. Fernández-Arias, J. Extremera, L. P. Dávila, and M. P. Rubio, “Educational trends post COVID-19 in engineering: Virtual laboratories,” in *Materials Today: Proceedings*, Elsevier Ltd, 2022, pp. 155–160. doi: 10.1016/j.matpr.2021.07.494.
- [27] F. Esquembre, “Facilitating the Creation of Virtual and Remote Laboratories for Science and Engineering Education,” in *IFAC-PapersOnLine*, Elsevier B.V., 2015, pp. 49–58. doi: 10.1016/j.ifacol.2015.11.212.

- [28] E. E. Vidal Rosas and C. G. Fernández, “Pedagogical framework to develop interactive virtual tools for the teaching and learning of dynamic systems in Control Engineering,” in *IFAC-PapersOnLine*, Elsevier B.V., Jul. 2022, pp. 218–223. doi: 10.1016/j.ifacol.2022.09.282.
- [29] L. S. Post, P. Guo, N. Saab, and W. Admiraal, “Effects of remote labs on cognitive, behavioral, and affective learning outcomes in higher education,” *Comput Educ*, vol. 140, Oct. 2019, doi: 10.1016/j.compedu.2019.103596.
- [30] N. ABEKIRI, A. RACHDY, M. AJAAMOUM, B. NASSIRI, L. ELMAHNI, and Y. OUBAIL, “Platform for hands-on remote labs based on the ESP32 and NOD-red,” *Sci Afr*, vol. 19, Mar. 2023, doi: 10.1016/j.sciaf.2022.e01502.
- [31] R. Gil *et al.*, “Aplicaciones y seguridad en la implementación de competencias prácticas en entornos de gestión del aprendizaje,” *Arbor*, vol. 187, no. EXTRA 3, pp. 135–151, 2011, doi: 10.3989/arbor.2011.Extra-3n3136.
- [32] M. Nicola and C. I. Nicola, “Real-Time Remote Sensorless Control of PMSM Using Embedded System and Webserver,” in *Proceedings - 2021 IEEE 3rd Global Power, Energy and Communication Conference, GPECOM 2021*, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., Oct. 2021, pp. 73–78. doi: 10.1109/GPECOM52585.2021.9587897.
- [33] O. Mar-Cornelio, I. Santana-Ching, and J. González-Gulín, “Sistema de Laboratorios Remotos para la práctica de Ingeniería de Control,” *Revista científica*, vol. 3, no. 36, pp. 356–366, Sep. 2019, doi: 10.14483/23448350.14893.
- [34] L. F. Z. Rivera and M. M. Larrondo-Petrie, “Models of remote laboratories and collaborative roles for learning environments,” in *Proceedings of 2016 13th International Conference on Remote Engineering and Virtual Instrumentation, REV 2016*, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., Mar. 2016, pp. 423–429. doi: 10.1109/REV.2016.7444517.
- [35] M. Kalúz, J. García-Zubía, M. Fikar, and Ľ. Čirka, “A Flexible and Configurable Architecture for Automatic Control Remote Laboratories,” *IEEE Transactions on Learning Technologies*, vol. 8, no. 3, pp. 299–310, 2015, doi: 10.1109/TLT.2015.2389251.
- [36] Agencia Unal, “‘Laboratorios remotos’, innovación académica de la UNAL Sede Manizales,” Apr. 20, 2023. <http://agenciadenoticias.unal.edu.co/detalle/laboratorios-remotos-innovacion-academica-de-la-unal-sede-manizales> (accessed May 29, 2023).
- [37] A. Van den Beemt, S. Groothuijsen, L. Ozkan, and W. Hendrix, “Remote labs in higher engineering education: engaging students with active learning pedagogy,” *J Comput High Educ*, 2022, doi: 10.1007/s12528-022-09331-4.
- [38] K. Achuthan, D. Raghavan, B. Shankar, S. P. Francis, and V. K. Kolil, “Impact of remote experimentation, interactivity and platform effectiveness on laboratory learning outcomes,” *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, vol. 18, no. 1, Dec. 2021, doi: 10.1186/s41239-021-00272-z.

- [39] T. de Jong, S. Sotiriou, and D. Gillet, “Innovations in STEM education: the Go-Lab federation of online labs,” *Smart Learning Environments*, vol. 1, no. 1, Dec. 2014, doi: 10.1186/s40561-014-0003-6.
- [40] Next-Lab, “GO-LAB,” 2020. <https://www.golabz.eu/> (accessed Sep. 10, 2023).
- [41] G. Sohlenius, “Concurrent Engineering,” *CIRP Annals*, vol. 41, no. 2, pp. 645–655, 1992, doi: [https://doi.org/10.1016/S0007-8506\(07\)63251-X](https://doi.org/10.1016/S0007-8506(07)63251-X).
- [42] F. Arrayago *et al.*, *Los 40 Principios de Inventiva de UTN FRGP I*. [Online]. Available: <http://www.edutecne.utn.edu.ar>
- [43] M. R. M. Asyraf, M. R. Ishak, S. M. Sapuan, and N. Yidris, “Conceptual design of multi-operation outdoor flexural creep test rig using hybrid concurrent engineering approach,” *Journal of Materials Research and Technology*, vol. 9, no. 2, pp. 2357–2368, Mar. 2020, doi: 10.1016/j.jmrt.2019.12.067.
- [44] M. R. M. Asyraf, M. R. Ishak, S. M. Sapuan, and N. Yidris, “Conceptual design of creep testing rig for full-scale cross arm using TRIZ-Morphological chart-analytic network process technique,” *Journal of Materials Research and Technology*, vol. 8, no. 6, pp. 5647–5658, Nov. 2019, doi: 10.1016/j.jmrt.2019.09.033.
- [45] J. B. ReVelle, J. W. Moran, and C. A. Cox, *The QFD Handbook*. Wiley, 1998. [Online]. Available: https://books.google.com.ec/books?id=_ngbWPXF118C
- [46] “QFD ONLINE,” *Traditional House of Quality*, Jun. 15, 2008.
- [47] S. Ford and M. Despeisse, “Additive manufacturing and sustainability: an exploratory study of the advantages and challenges,” *J Clean Prod*, vol. 137, pp. 1573–1587, Nov. 2016, doi: 10.1016/j.jclepro.2016.04.150.
- [48] U. M. Dilberoglu, B. Gharehpapagh, U. Yaman, and M. Dolen, “The Role of Additive Manufacturing in the Era of Industry 4.0,” *Procedia Manuf*, vol. 11, pp. 545–554, 2017, doi: <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.07.148>.
- [49] HelioEsfera, “COORDENADAS Y CARTA SOLAR,” Oct. 10, 2021.

ANEXOS

DA98D Digital AC Servo Drive Unit

User Manual

(V5.00)



GSK

广州数控设备有限公司
GSK CNC EQUIPMENT CO., LTD.



In this User manual, we will exert ourselves to describe each item related to operation of this drive unit. But due to reasons like limit in space and specific product uses, detailed description of unnecessary or impossible operation of this drive unit will be not included. Therefore, items that are not specially indicated in this manual will all be regarded as “impossible” or “disallowed” operations.



Copyright of this manual belongs to GSK Equipment Co., Ltd, and any publication or copying of this manual by any unit or individual will be deemed as illegal behaviors. GSK Equipment Co., Ltd shall reserve the rights to ascertain legal liabilities of such behaviors.

Company Profile

Currently, GSK Equipment Co., Ltd (hereafter GSK for short) is a China's company with the domestically largest sale volumes of digital control systems. As the digital control industry base in Southern China and one of the 20 manufacturers of key equipment in Guangzhou, GSK is an undertaker of key projects listed in State 863 Supporting Technology for Middle-Grade Digital Control Industrialization. For more than a decade, the company has been dedicated to professional research & development, designing and manufacturing of such products as digital control systems for machine tools, digital control devices, drive units and servo motors. By launching campaign on popularization of digital control machine tools and developing trade in digital control machine tool, the company has developed into a large hi-tech company that integrates science, education, industry and trade into itself. Currently the company has more than 1,400 employees, among whom there are 4 doctors, more than 50 masters and over 500 engineering technicians (more than 50 technicians with senior professional titles). With a superior cost performance, GSK series of products have a very good sale in China and far in Southeastern Asia. Between 2000 and 2006, its market share has ranked No.1 in China for 7 consecutive years and its yield and sale volumes have led the peers for 7 consecutive years, which have consolidated its position as the biggest domestic production base of digital control system for machine tools.

Our main products include digital control equipment and devices like GSK series of machine tools, milling machine and digital control system for processing centers as well as Da98, DA98A, DA98B and DA98D series of full digital AC servo drive units, DY3 series of hybrid stepper motor driver, DF3 series of reaction stepper motor driver, GSK·SJT series of AC servo motors and CT-L digital control slipway. All the products follow state standards (international standards), industry standards and supplementary company standards (or internal control standards) in an all-round way. With powerful strength in technology development and improved production and quality assurance system, GSK has satisfied requirements of vast number of its customers with stable and reliable product quality. Its improved and sound

service mechanisms as well as the more than ten service offices set up in domestic and foreign provinces and cities can guarantee swift and convenient technical support and services within 24 to 48 hours. “Excellent products and outstanding services” have built a brilliant GSK. Abiding by the operation concept of “creating century-old company and molding gold brand”, GSK people will make unremitting efforts to build a digital control industry base in Southern China and push forward national digital control industry.

Field Technical Support Services

If you have problems that cannot be resolved through phone calls, you can receive our technical support on the spot. GSK will authorize technical support engineer to the field to resolve your technical problems.

Foreword

Distinguished Customers,

It is a great honor for us to have you buy DA98D full digital AC servo drive units of GSK Equipment Co., Ltd.

This manual will introduce requirements and notes about operation of DA98D full digital AC servo drive unit.



Improper operation will cause accidents, and the drive unit must be operated by personnel with related qualifications

Please see to it that you have carefully read the manual prior to operation!

If there are changes to specifications and designs, we will not provide further notices.

Sincere thanks to your friendly support for using products of GSK Equipment Co., Ltd.!

Chinese version of all technical documents in Chinese and English languages is regarded as final.

- Due to improvement in products, contents of this manual will have some changes, for which we will not provide further notices.
- We will not be held accountable for any change made by the customer on the product and the warranty form will hereby go invalid.

Please give special attention to the following warning signs when reading the manual!



Wrong operation may lead to disastrous consequences---death or serious injury



Wrong operation may hurt the operator and the equipment may also be damaged!



Improper operation may damage the product and equipment!

Safety Warning

Warning

- The product is not designed and manufactured to be used in machines or systems threatening personal safety.
- When selecting the product, the customers shall consider safety protection measures when designing and manufacturing their machines and systems, so as to avoid improper operation or irregular accidents of the product.

Acceptance

Attention

- Damaged or broken-down products shall not be put into use.

Transportation

Attention

- Products must be stored and transported under conditions for storage and transportation.
- Over-height piling shall not be allowed to prevent products from falling.
- When being transferred, the products concerned shall be properly packed.
- The servo motor shall not be moved by drawing its wire, motor shaft or encoder.
- Outside force and impact shall not be imposed on servo drive units and servo motors.

Installment

Attention

Servo drive units and servo motors:

- Shall not be installed above or around combustible articles to prevent fire disaster.
- Shall avoid vibration. Impact shall be strictly forbidden.
- Shall not be installed when they are damaged or the parts are incomplete

Servo Drive unit:

- Must be installed in the control panel with sufficient degree of protection.
- Must keep sufficient intervals away from other equipment.
- Must have good conditions for heat emitting.
- Must prevent invasion of dust, corrosive air, conductive matters, liquid, combustible and explosive substances.

Servo motors:

- Must be firmly installed to prevent loosening under vibration
- Must prevent motor and encoder from being damaged by the invaded liquids
- Shock on motor and motor shaft shall be strictly forbidden to prevent the encoder from being damaged.
- Load surpassing its limit shall not be imposed on the motor shaft.

Wiring

 Attention

- Personnel involved in wiring or examination must possess sufficient competence in this task.
- Wiring and examination must be conducted 5 minutes after the power is switched off.
- Servo drive units and servo motors must have good ground contact.
- Wrong voltage or electrode may cause explosion or operation accidents.
- Only after the servo drive unit and servo motor are properly installed can the wiring be conducted.
- Ensure insulation of the wire and avoid pressing the wire to prevent electric shock.

 Attention

- Wires must be connected in a correct and firm manner, otherwise, the servo motor may run by error or the equipment may be damaged due to bad contact.
- Terminals of U, V and W in servo motor shall not be connected reversely, nor be connected to AC power.
- Servo motor and servo drive unit must be directly connected and they shall not be connected with capacitor, inductor or wave filter.
- Prevent conductive fastening elements and wire heads from entering in the servo drive unit.
- The wire and substances not resistant to heat shall not close up to the servo drive unit's radiator and servo motor.
- Continuous current diode connected in parallel to the DC relay for output signals shall not be connected reversely.

Commissioning and Runing

 Attention

- Confirm that the servo drive unit and servo motor have been properly and firmly installed and that the power voltage and wiring are correct before switching on power.
- When commissioning, first run the servo motor without load; and after confirming that the parameters are correctly set, run the servo motor with load. In this process, improper operation shall be avoided to prevent the machine and equipment from being damaged.

Operation

 Attention

- An emergency stop circuit shall be coupled in to ensure that the equipment can immediately stop by timely switching off power in case of accidents.
- Confirm that the operation signal has been cut off before resetting an alarming signal; otherwise, the signal will be restarted suddenly.
- Servo drive unit must be operated together with its matched set of servo motor.
- Do not frequently switch off or on power of the servo drive unit to prevent the system from being damaged.
- The servo drive unit and servo motor may be very hot after long hours of operation, so do

not touch the servo drive unit's radiator or the servo motor with your hand within a short time after the power is off.

- Do not refit the servo drive unit.

Failure Handling



- Even after the power of servo drive unit has been cut off, the voltage will remain for some time. So do not dismantle the wire or touch the plate of terminals.
- Personnel involved in dismantlement and repair must possess corresponding professional knowledge and working capacity.



- In case of alarming, the trouble must be shot. Before restarting the machine, the alarming signal shall be reset.
- Keep away from the machine when re-switching on the power after instantaneous power failure, for the machine may be restarted suddenly (when designing the machine, make sure that there will be no danger when restarting the machine).

System Selecting and Matching



- Rated torque of the servo motor shall be greater than the valid continuous load torque.
- The ratio of load inertia to servo motor inertia shall be less than the recommended value.
- When selecting servo drive unit and servo motor, they shall be matched with each other.

Table of Contents

Chapter One Overview	1
1.1 Product Introduction.....	1
1.2 Arrival Examination.....	2
1.3 Product Appearance.....	3
Chapter Two Installment	6
2.1 Environmental Conditions.....	6
2.2 Installment of Servo Drive unit.....	6
2.3 Installment of Servo Motor.....	9
Chapter Three Wiring	10
3.1 Standard Wiring.....	10
3.2 Functions of Terminals.....	14
3.3 I/O Interface Principle.....	19
Chapter Four Parameters	25
4.1 Checklist of Parameters.....	25
4.2 Functions of Parameters.....	27
4.3 List for comparison of Modle Codes & Parameters and Motor.....	34
Chapter Five Alarming and Handling	35
5.1 List of Alarms.....	35
5.2 Methods for Handling Alarms.....	36
Chapter Six Display and Operation	40
6.1 Keyboard Operation.....	40
6.2 Ways of Monitoring.....	41
6.3 Parameter Setting.....	43
6.4 Parameter Management.....	44
6.5 Speed Trial Operation.....	45
6.6 JOG Operation.....	46
6.7 Others.....	46
Chapter Seven Operation by Switching on Power	47
7.1 Power Supply Connecting.....	47
7.2 Trial Operation.....	49
7.3 Adjustment.....	51
Chapter Eight Product Specifications	53
8.1 Driver Specifications.....	53
8.2 Servo Motor Specifications.....	54
8.3 Isolating Transformer.....	59

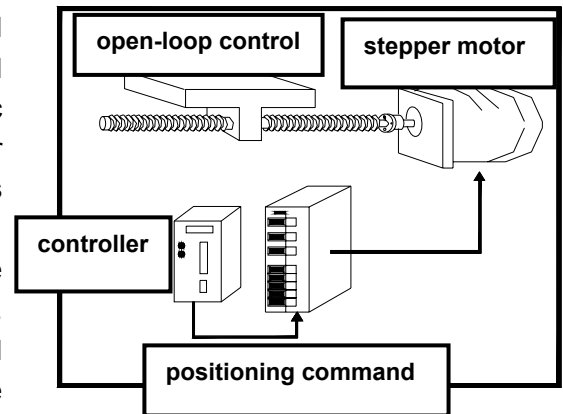
Chapter Nine Order Instructions	65
9.1 Capacity Selecting	65
9.2 Electronic Gear Ratio.....	65
9.3 Stop Features.....	66
9.4 Calculation Method for Selecting Models of Servo System and Position Controller.....	66

Chapter One Overview

1.1 Product Introduction

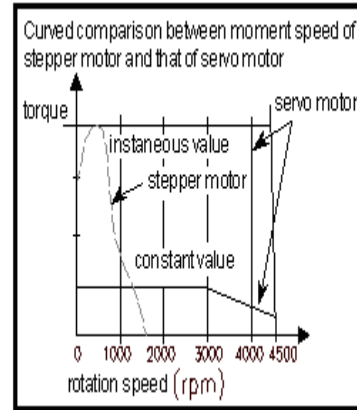
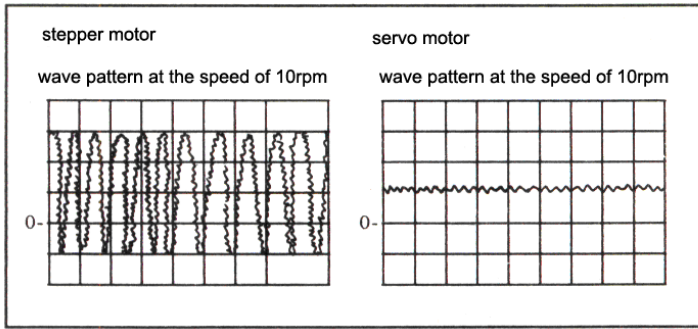
The AC servo technology has undergone a rapid development since the beginning of 1990s, during which period this technology has been increasingly mature and its performance has been constantly improved. Now this technology has been widely applied to such automatic fields as CNC machine tools, printing and packing machines, textile machinery and automatic production lines.

DA98D AC servo drive unit (all called full digital AC servo drive device) is a new generation of full digital AC servo drive unit produced by our company. This product includes two control modes of speed and position. It can be matched with various open-loop and closed-loop control systems and has been widely applied to CNC machine tools and automatization industry. Internationally advanced special-purpose chip for motor control (TMS320LF2407A DSP), complex programmable logic display (CPLD) and MITSUBISHI intelligent power module (IPM) are adopted inside the servo, so it has such advantages as high degree of integration, compact, perfect protection and good reliability. The optimal PID is employed to achieve PWM control. Performance of this product has reached internationally advanced level among its peers at home and aboard.



Compared with stepper drive, DA98D AC servo unit has the following strong points:

- **Avoid out-of-Synchronization Phenomena**
Servo motor has encoder on itself and the position signal will be fed back to the servo drive unit, forming a semi-closed loop system together with the open-loop position controller.
- **Wide speed ratio and constant torque**
Speed ratio is 1:5000, with stable torque characteristics from low speed to high speed.
- **High speed and precision**
The maximal rotation rate of servo motor can reach 3000r/min, with a rotary positioning precision 1/10000r.
Notes: maximal rotation rate is not the same with different models of servo motor.
- **Easy and flexible control**
Through parameter changing, working methods and characteristics of the servo drive unit can be properly set to comply with different requirements.



1.2 Arrival Examination

1) After the product arrives, please see to examine the following aspects:

- (1) Whether the packing case is in good conditions, and whether the product is damaged during transportation?
- (2) Check nameplates of the servo drive unit and servo motor to confirm whether the products received comply with the order.
- (3) Check packing list to confirm whether the accessories are complete.

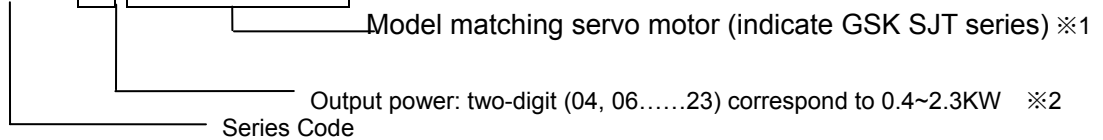
Attention

- Servo system shall not be installed when it is damaged or does not have complete parts.
- Servo drive unit must be used together with the servo motor whose performance matches that of the former.
- If there is any doubt about the products received, please contact supplier or us.

2) Model meaning:

a) Models of servo drive unit

DA98D-06-110SJT-M020E



※1: It can be matched with other domestic or imported servo motor. If there is no parameter in the drive unit, it can only be matched with SJT and ST series of servo motors.

※2: Small power (1.5KW or less) means standard configuration; medium power (more than 1.5KW but less than 1.6KW) means thicker radiator.

Notes: when the product is delivered from the factory, the product model has been completed in the above column. Please check them with the product nameplate.

b) Models of servo motor

DA98D AC servo drive unit can be matched with many domestic or exported servo motors, which is at your option. Chapter Eight of this manual will provide information about **SJT**

series of servo motor from GSK and **ST** series of servo motor from New Motor Company of Huazhong University. Information about other models will be provided with the servo motor delivered.

2) Accessories

a) Standard Accessories of DA98D servo drive unit

① User Manual (this manual)	1	
② M4×8 countersunk head screws	4	
③ CN1 Plug (DB44 female)	1	(note 1)
④ CN2 Plug (DB25 male)	1	(note 2)

Note 1: For matching our position controller, it will be provided together with the signal cable, whose standard length is 3 meters.

Note 2: when we provide servo motor, you can ask us to provide its matching feedback cable, whose standard length is 3 meters.

b) Standard accessories of servo motor will be provided according to user instructions.

1.3 Product Appearance

1) Appearance of servo drive unit

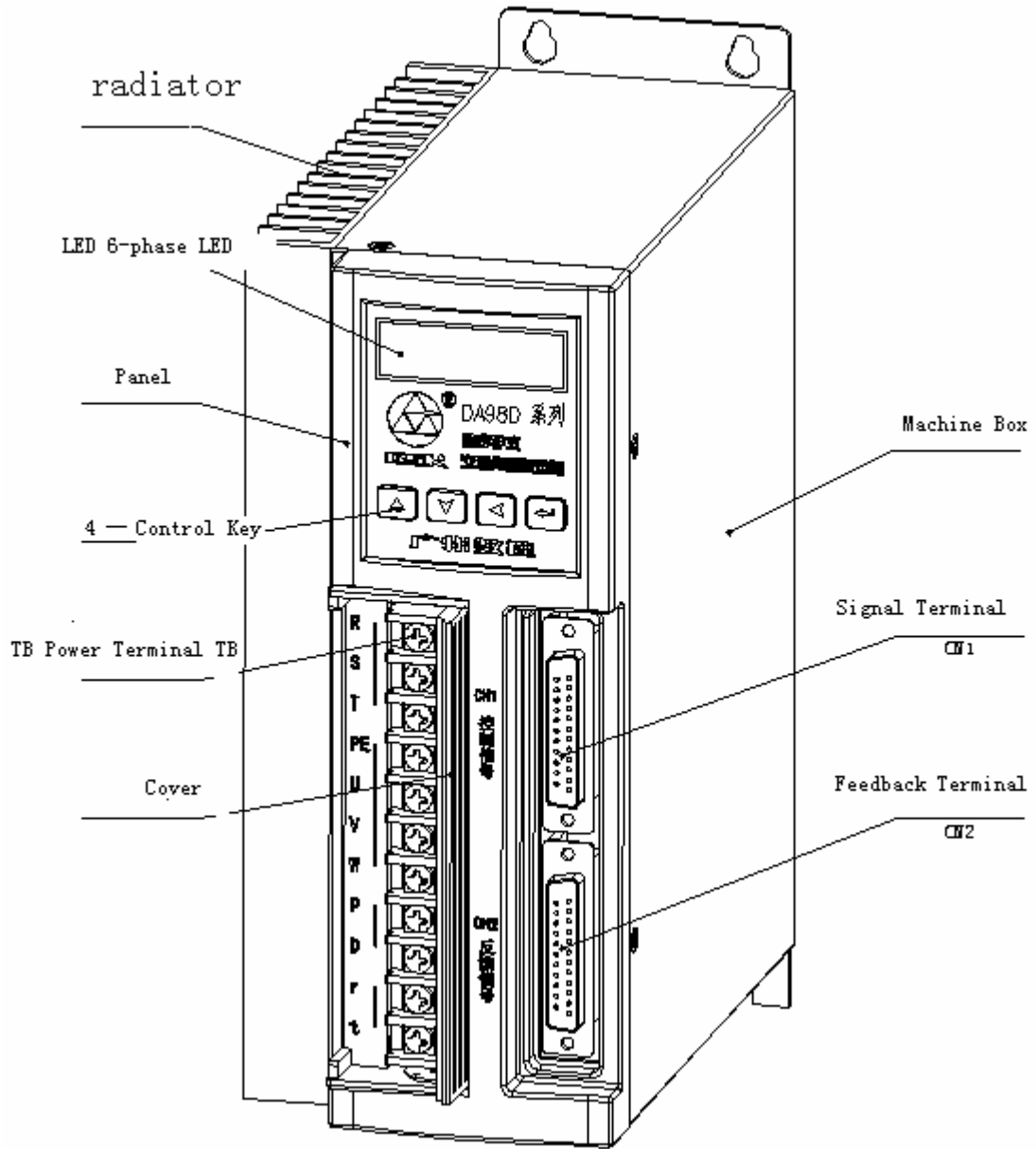


Fig. 1-1 Appearance of Servo Drive unit

2) Servo motor appearance

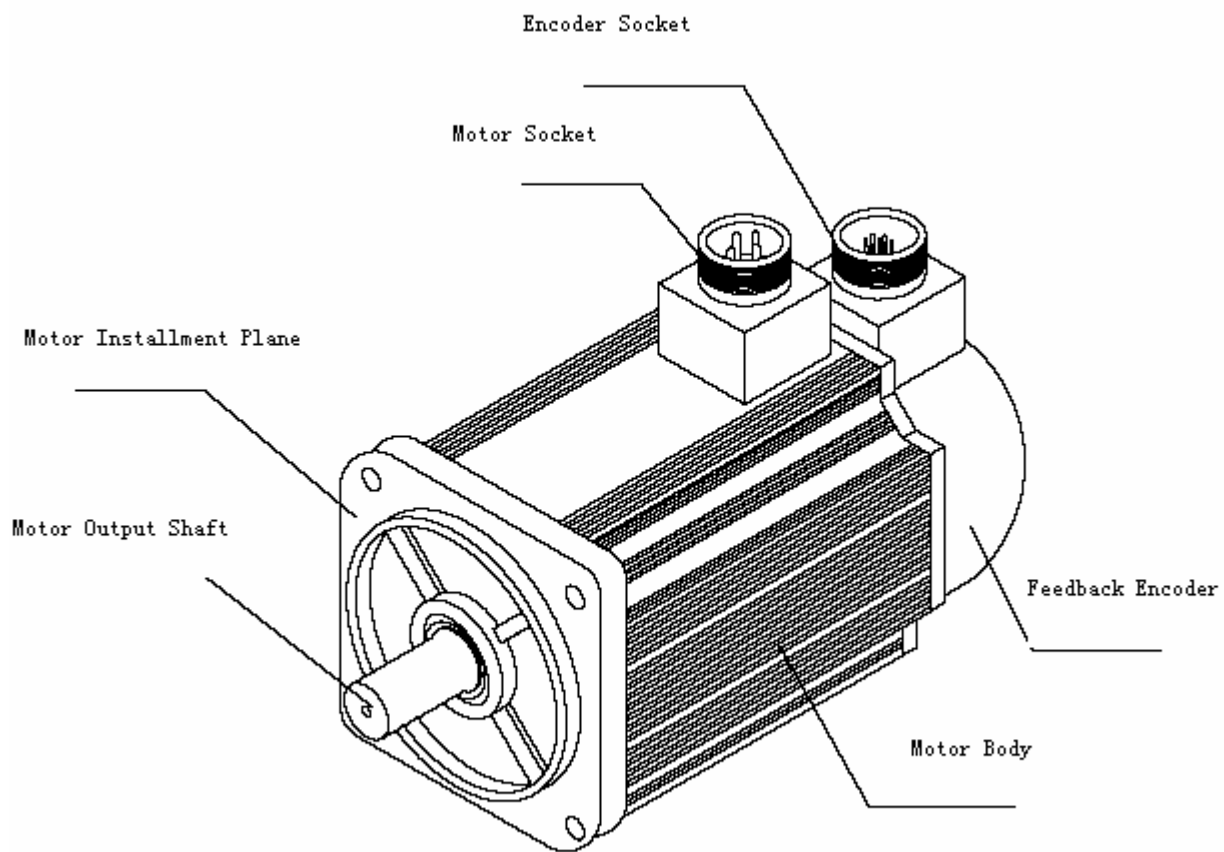



Fig. 1-2 Servo Motor Appearance


Chapter Two Installment

 Attention
<ul style="list-style-type: none"> ● The products must be stored and installed according to the requirements for environmental conditions. ● The products can be piled up with a limited number; over-piling shall not be allowed to prevent the products from being damaged or falling. ● The products must be stored and transported with original package. ● Product shall not be installed when it is damaged or does not have complete parts. ● Fireproof material is needed for the product installment; the product shall not be installed above or around combustible article to prevent fire. ● Servo drive unit must be installed within electric cabinet to prevent invasion of dust, corrosive air, conductive matters, liquid, combustible and explosive substances. ● Servo drive unit and servo motor shall avoid vibration. Impact shall be strictly forbidden. ● It is forbidden to draw wire, motor shaft and encoder of the servo motor.

2.1 Environmental Conditions

Items	DA98DServo Drive unit	GSK SJT Series of AC Servo Motor
Operation Temperature/ Humidity	0℃~55℃ (no frozen frost) Less than 90%RH (no dew condensation)	-10℃~40℃ (no frozen frost) 90%RH (no dew condensation)
Storage Temperature/ Humidity	-20℃~80℃ 90%RH(no dew)	-40℃~55℃ 85%RH (no dew)
Atmospheric Environment	Within the control panel, there shall be not corrosive air, combustible air, oil fog or dust.	Within the room (no insolation), there shall be not corrosive air, combustible air, oil fog and dust.
Height	Less than 1000m above sea level	Less than 1000m above sea level
Vibration	Less than 0.5G(4.9m/s ²)10 Hz -60Hz (non-continuous operation)	
Degree of Protection	IP00	IP54

2.2 Installment of Servo Drive unit

 Attention
<ul style="list-style-type: none"> ● Servo drive unit must be installed in the electric cabinet with good protection. ● Servo drive unit must be installed according to direction and interval as stipulated. Good conditions for heat radiating should be guaranteed. ● It shall not be installed above or around combustible articles to prevent fire.

1) Installment Environment

(1) Protection

The servo driver does not have any protection within its own structure, so it must be installed within the electric cabinet with good protection and prevented from contact of corrosive and combustible air. Conductive matters, metal dust, oil fog or liquid shall be prevented from entering inside.

(2) Temperature and Humidity

The environmental temperature shall be kept between 0°C and 50°C, while temperature for long-term safety operation shall be kept below 45°C. Good conditions for heat radiating shall be guaranteed.

(3) Vibration and Impact

When installing the drive unit, vibration shall be avoided. Vibration reduction measures shall be taken to control the vibration below 0.5G (4.9m/S²).

2) Installment Methods

(1) Ways of Installment

The user can adopt the ways of installment by back panel or panel. The installment shall form an upward right angle with the installment plane. Fig. 2.1 is a schematic diagram for installment by back panel and Fig. 2.2 is a schematic diagram for installment by panel.

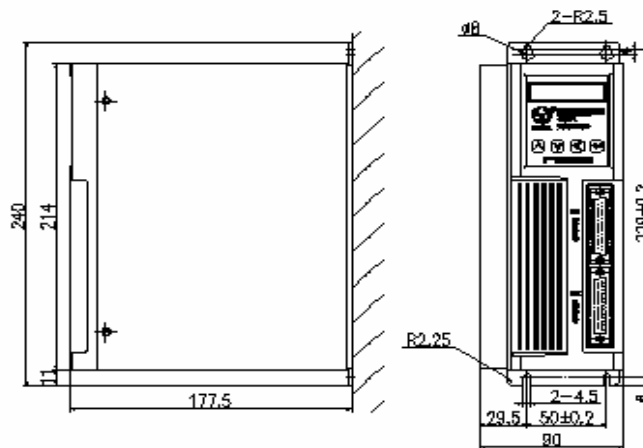


Fig. 2.1 Installment method of driver back panel

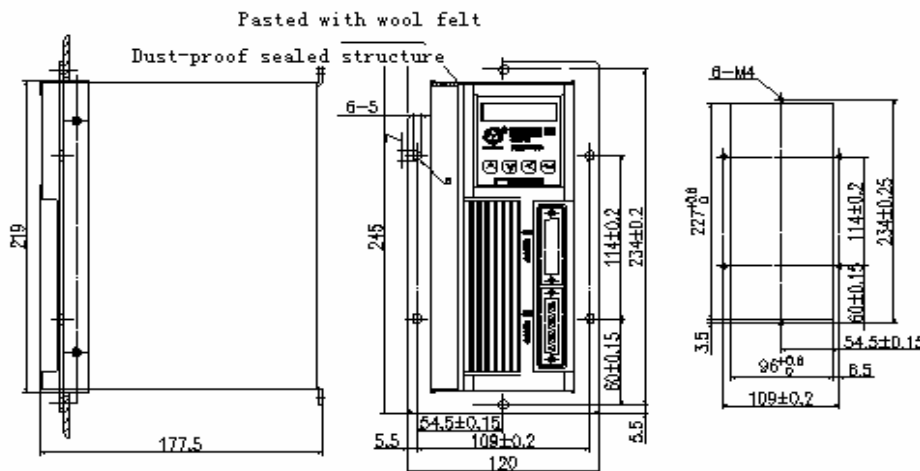


Fig. 2.2 Installment method of driver panel

(2) Installment Interval

Fig. 2.3 shows the installment interval for single drive unit and Fig. 2.4 shows the installment interval for multiple drive units. In actual installment, the interval shall be as great as possible to ensure good conditions for heat radiating.

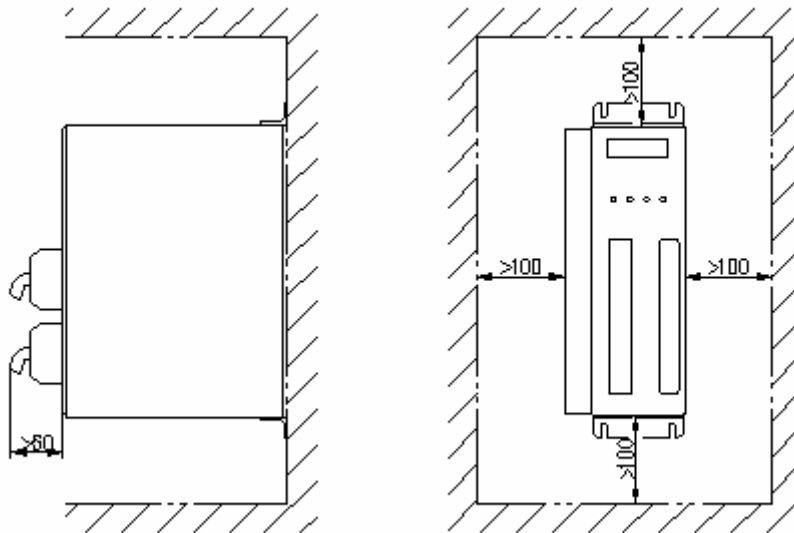


Fig. 2.3 Installment for Single Drive unit

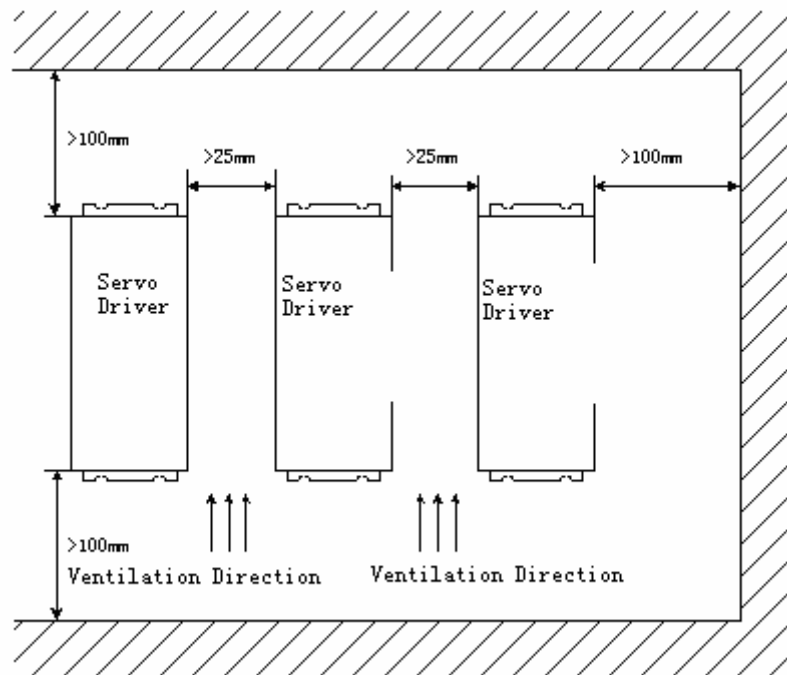


Fig. 2.4 Installment Interval for Multiple Drive units

(3) Heat Radiating

To ensure that surrounding temperature of the drive unit will not be constantly increased, there shall be convective-current wind blowing towards radiator of the drive unit within the electric cabinet.

2.3 Installment of Servo Motor



Attention

- Shock on the motor shaft or encoder shall be forbidden to prevent the motor from vibration or impact.
- The motor shall not be moved by drawing motor shaft, leading-out wire or encoder.
- Load on the motor shaft shall not surpass its limit; otherwise, the motor may be damaged.
- The motor must be firmly installed with anti-loosening measures.

1) Installment Environment

(1) Protection

Currently, GSK **SJT** series and Huazhong Series of servo motor are not water resistant, so liquid must not be splattered on the motor during installment. Oil or water must be prevented from entering inside the motor through leading-out wire or the motor shaft.

Notes: if the user needs water-resistant servo motor, please make a clear indication in the order.

(2) Temperature and Humidity

The environmental temperature shall be kept between -10°C and 40°C . After long hours of operation, the motor will have an increasingly hot temperature, so compulsory heat radiating shall be considered when the surrounding space is relatively small or there are heating equipment.

The humidity shall not be more than 90%RH, without dew condensation.

(3) Vibration

Servo motor shall not be installed at places with vibration. The vibration inflicted on the motor shall not be more than 0.5G (4.9m/s^2).

2) Installment Methods

(1) Ways of Installment

Currently, **SJT** and **ST** series of motors adopt the way of installment by the flange with arbitrary installment direction.

(2) Notes:

- When dismantling or installing the belts and wheels, shock on the motor or motor shaft shall be forbidden to prevent the encoder from being damaged. Screw pressing tools shall be employed in the dismantlement or installment.
- Currently, most of the **SJT** and **ST** series of motors cannot bear shaft-direction or radial-direction loads. Coupling is recommended for connecting the loads.
- When fastening the motor, the anti-loosening washer shall be used to prevent the motor from loosening.

Chapter Three Wiring

Warning

- Personnel involved in wiring or examination must possess sufficient abilities in this task.
- Wiring and examination must be conducted 5 minutes after the power is off for preventing electric shock.

Attention

- The wires must be connected according to terminal voltage and electrode to prevent the equipment from being damaged or personnel from being hurt.
- The drive unit and servo motor must have good ground contact.

3.1 Standard Wiring

External connection of the drive unit is related to the control modes.

1) Position Control Mode

Fig. 3.1 shows standard wiring for the position control mode.

2) Speed Control Mode:

Fig. 3.2 shows the standard wiring for the speed control mode.

3) Wire Distributing

(1) Power Terminal TB

- Wire cross-sectional area: Terminals of R, S, T, PE, U, V and W have an area 1.5mm²(AWG14-16) and more while terminals of r and t have an area 1.0 mm² (AWG16-18) and more.
- Grounding: the grounding wire shall be as thick as possible. The servo driver and motor has ground contact at the point of PE terminal with a grounding resistance less than 100Ω.
- Terminal connection adopts SVM2-4 pre-insulation cold pressing terminal. The connection must be fastened.
- It is recommended to supply power with three-phase isolating transformer, which will reduce the possibility of electric shock.
- It is recommended that the power supply gives power through noise filter for enhancing anti-jamming ability.
- Please install non-fuse breaker (NFB) in order to cut off external power supply when the driver breaks down.

(2) CN2Control Signal CN1 and Feedback Signal CN2

- Wire material selecting: employ shielding cable (best with inter-twisted shielding cable), the cross-section area of the core shall be 0.12mm²(AWG24-26) and more. The shielding layer shall be connected with FG terminal.
- Wire and cable length: wire and cable shall be as short as possible; control signal CN1 shall not be longer than 3 meters while the feedback signal CN2 cable shall not be longer than 20 meters.
- Wire laying: Wire shall be laid far away from the power circuit to prevent jamming.

- Please install surge absorbing elements in sensible elements (loop) in related circuits: DC loop is reversely connected in parallel with continuous current diode while AC loop is connected in parallel with capacitance-resistance absorbing return circuit.

**Attention**

U, V and W shall be connected with motor winding in the way of one-to-one correspondence. Reverse connecting shall be forbidden.

The wires and leads shall be fastened firmly and avoid approaching radiator of the drive unit and the motor for the fear that the insulation performance will be reduced due to heat.

There will remain large quantities of electrolyzed capacitance in the servo drive unit, so there will a high remaining voltage even after the power is cut off. Do not touch drive unit or motor within 5 minutes after the power is off!

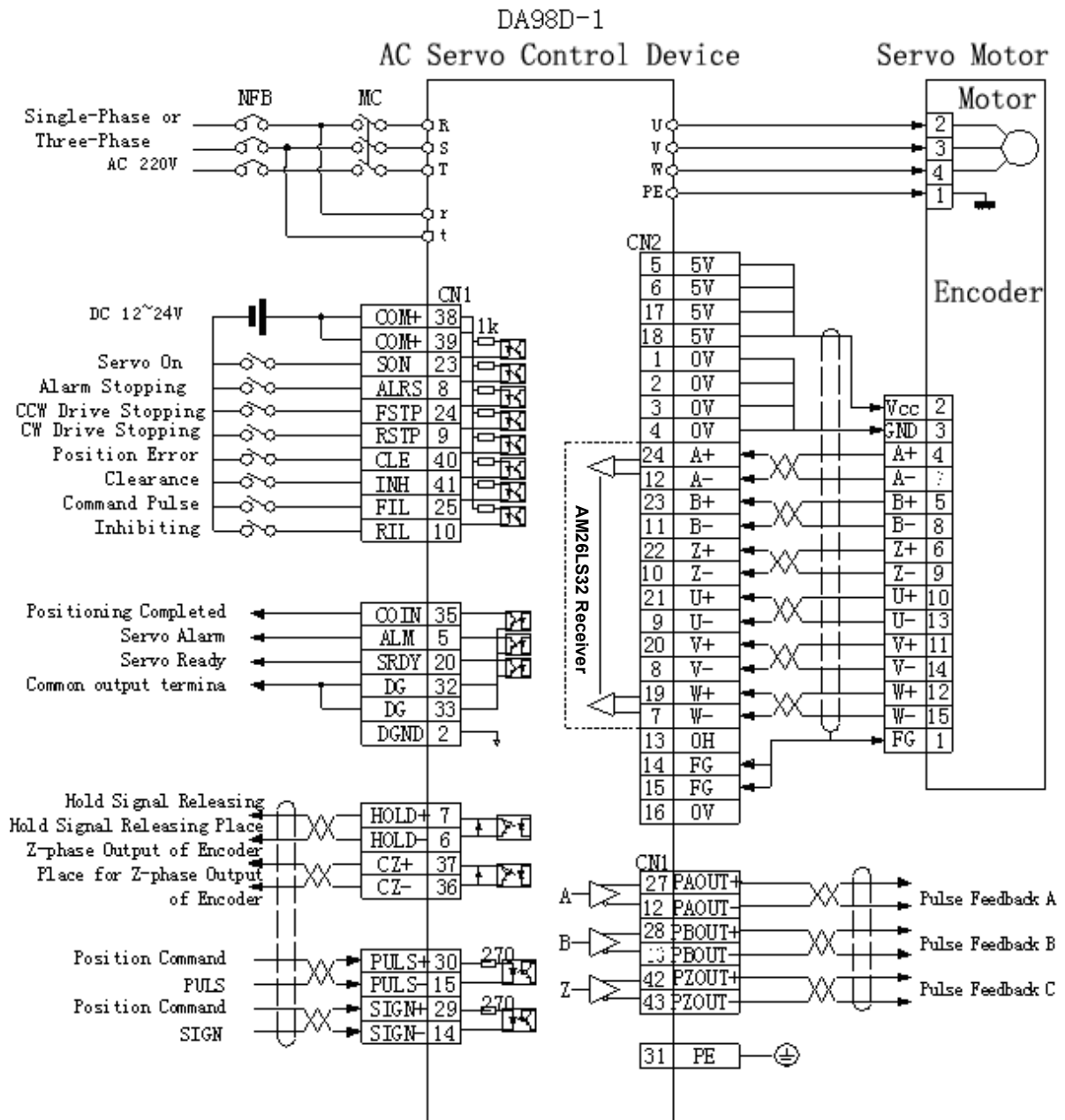


Fig. 3.1 Standard Wiring for Position Control Mode

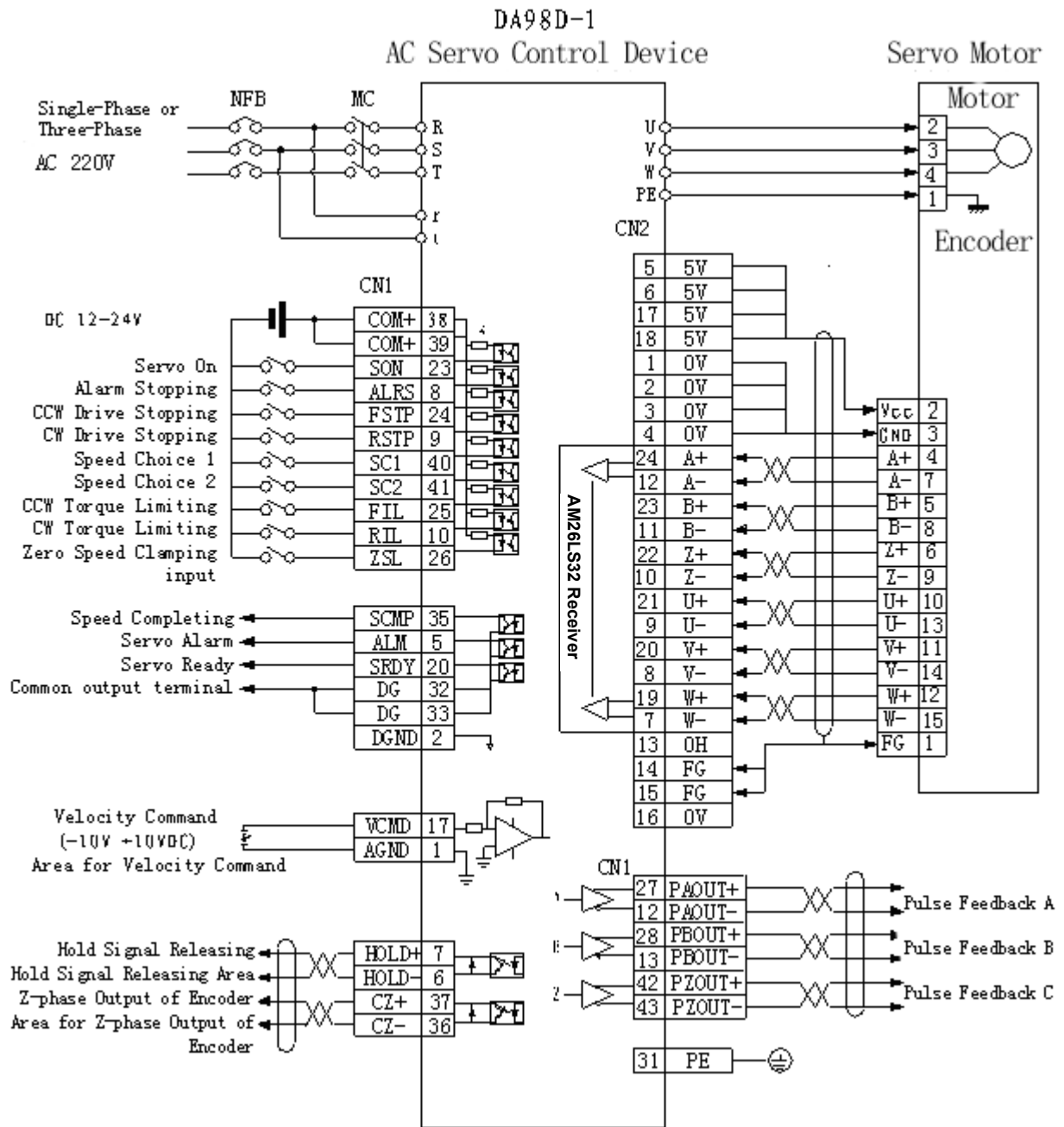
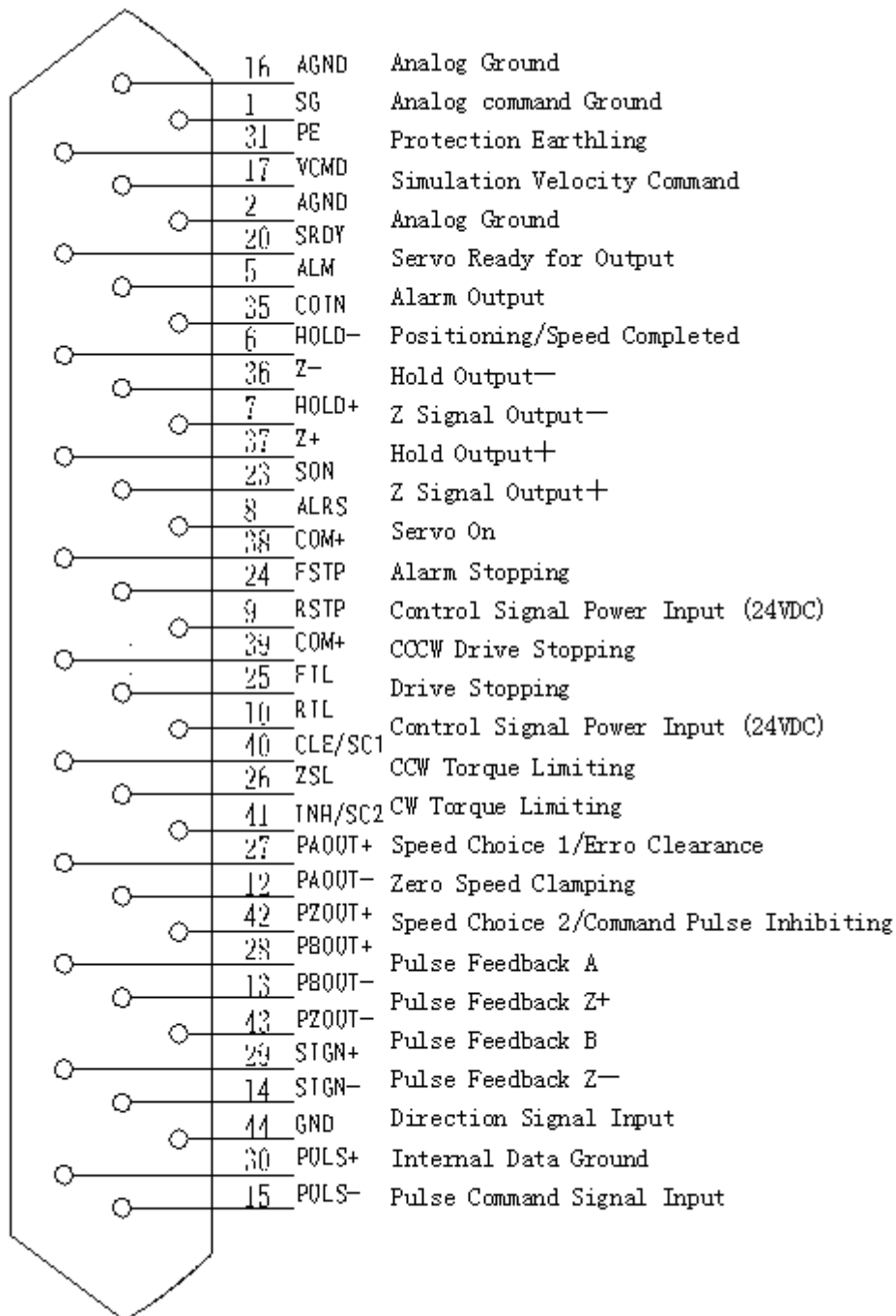


Fig. 3.2 Standard Wiring for Speed Control Mode

3.2 Functions of Terminals

1) Configuration of Terminal

Fig. 3.3 is a configuration chart for interface terminals of the servo drive unit. TB is the plate of terminals; CN1 is for connector of DB44 with male socket and female plug; CN2 is also for connector of DB28 with female socket and male plug.



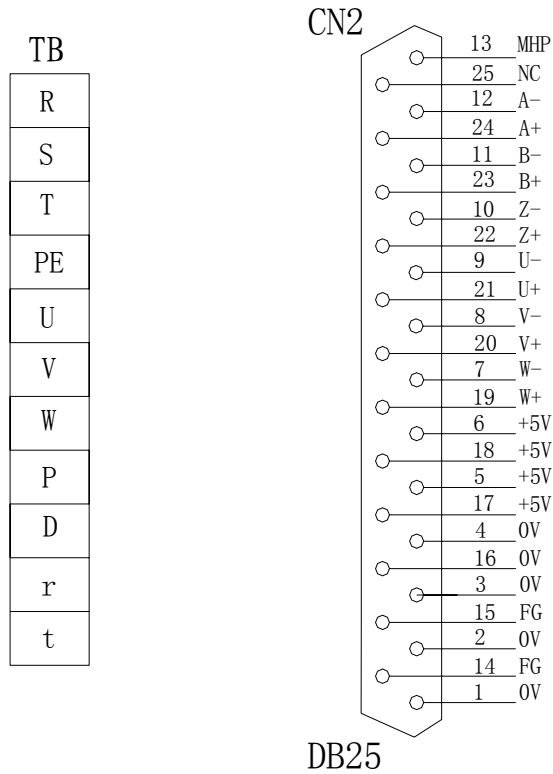


Fig. 3.3 Configuration Chart for Interface Terminals of Servo Drive unit

2) Power Terminal TB

Table 3.1 Power Terminal TB

Terminal No.	Terminal Mark	Terminal Name	Functions
TB-1	R	Major Loop Power Single-phase or Three-phase	Input terminal of major return circuit power ~220V 50Hz Notes: Do not connect with motor output terminals of U, V and W.
TB-2	S		
TB-3	T		
TB-4	PE	Product Earthling	Grounding terminals Grounding resistance is less than 100Ω; Servo motor output and power input have ground contact at the common point.
TB-5	U	Servo Motor Output	Servo motor output terminal; shall be connected with motor terminals of U, V and W in the way of one-to-one correspondence
TB-6	V		
TB-7	W		
TB-8	P	Back up	
TB-9	D	Back up	
TB-10	r	Control Power Single-Phase	Input terminal for control circuit power ~220V 50Hz
TB-11	t		

3) Control Terminal CN1

Simplified form of Control Modes:

P stands for position control mode

S stands for speed control mode

Table 3.2 Control Signal Input/Output Terminal CN1

Terminal No.	Terminal Name	Mark	I/O	Mode	Functions
CN1-38 CN1-39	Power Anode of Input Terminal	COM+	Type I		Power anode of input terminal Used to drive photoelectrical coupler in the input terminal DC12~24V, current ≥100mA
CN1-23	Servo On	SON	Type1		Servo on input terminal SON ON: allow driving operation SON OFF: the driver is closed and stops work; the motor is under free state Note 1 before switching SON OFF to SON ON, the motor must be in stillness; Note 2: after SON ON is switched on, wait at least 50ms before inputting commands.
CN1-8	Alarm Stopping	ALRS	Type1		Input terminal for alarm stopping ALRS ON: stop system alarm ALRS OFF: maintain system alarm Note1: Alarm for failure code larger than 8 can not be stopped with this method; it needs to cut off the power for examination and repair, and then switch on power.
CN1-24	CCW Drive Stopping	FSTP	Type1		Input terminal for CCW(counter clockwise) drive stopping FSTP ON: allow CCW driving operation FSTP OFF: stop CCW driving operation Note 1: If limit of the machine is surpassed, the CCW torque will remain zero when switching on OFF. Note 2: The function of FSTP OFF can be screened off or the function of "ON" can permanently surface by setting No.20 parameter.
CN1-9	CW Drive Stopping	RSTP	Type1		Input terminal for CW(clockwise direction) drive stopping RSTP ON: allow CW driving operation RSTP OFF: stop CW driving operation Note 1: If limit of the machine is surpassed, the CW torque will remain zero when switching on OFF. Note 2: The function of FSTP OFF can be screened off or the function of "ON" can permanently surface by setting No.20 parameter.
CN1-40	Error Meter Clearance	CLE	Type1	P	Input terminal for clearing position error meter CLE ON: Position control ; the position error meter will be cleared
	Speed Choice 1	SC1	Type1	S	Input terminal for speed choice 1 Under the speed control mode, the combination of SC1 and SC2 can be used to select different internal speeds SC1 OFF,SC2 OFF: internal speed 1 SC1 ON,SC2 OFF: internal speed 2 SC1 OFF,SC2 ON: internal speed 3 SC1 ON,SC2 ON: internal speed 4 Note: the values of internal speed 1 to 4 can be changed with parameters.

CN1-41	Command Pulse Inhibiting	INH	Type1	P	Input terminal for command pulse inhibiting INH ON: command pulse input is inhibited INH OFF: command pulse input is valid
CN1-41	Command Pulse Inhibiting	INH	Type1	P	Input terminal for position command pulse inhibiting INH ON: command pulse input is inhibited INH OFF: command pulse input is valid
	Speed Choice 2	SC2	Type1	S	Input terminal for speed choice 2 Under the speed control mode, the combination of SCA and SC2 can be used to select different internal speeds. SC1 OFF,SC2 OFF: internal speed 1 SC1 ON:SC2 OFF: internal speed 2 SC1 OFF,SC2 ON: internal speed 3 SC1 ON,SC2 ON: internal speed 4
CN1-25	CCW Torque Limiting	FIL	Type1		Input terminal for CCW(counter-clockwise direction) torque limiting FIL ON:CCW torque is limited within the scope of parameter No.36 FIL OFF: CW torque is not limited by parameter No.36 Note 1: No matter FIL is on or off, CCW torque will still be limited by parameter No.34. Generally, parameter No.34 > parameter No.36
CN1-10	CW Torque Limiting	RIL	Type1		Input terminal for CW(clockwise direction) torque limiting RIL ON: CW torque is limited within the scope of parameter No.37. RIL OFF: CW torque is not limited by parameter No.37 Note 1: No matter FIL is on or off, CCW torque will still be limited by parameter No.35. Generally, parameter No.351 > parameter No.371
CN1-20	Servo Ready for Output	SRDY	Type2		Terminal of Servo Ready for Output SRDY ON: Control power supply and main power supply are normal, the driver alarm does not occur, and the servo gets Ready for Output ON. SRDY OFF: the main power supply is not cut off or the driver alarm occurs, and the servo gets Ready for outputting OFF.
CN1-5	Servo Alarm Output	ALM	Type2		Output terminal for servo alarm ALM ON: servo driver alarm dose not occur, and the servo is Ready for outputting ON. ALM OFF: servo driver alarm occurs and the servo is Ready for outputting OFF.
CN1-35	Output for Positioning Completing	COIN	Type2	P	Output terminal for positioning completing COIN ON: when the value of position error meter is within the set scope of positioning, ON will be output for positioning completing.
	Output for Speed Completing	SCMP	Type2	S	Output terminal for speed completing SCMP ON: when the speed reaches or surpasses the set speed, On will be output for speed completing.

CN1-32 CN1-33	Common edge of Output terminal	DG	Common edge		Earthing common edge of control signal output terminal (excluding CZ)	
CN1-37	Z-Phase output of Encoder	CZ	Type2		Output terminal for Z-phase of encoder Output Z-phase pulse of servo motor's photoelectric code CZ ON: Z-phase signal appears	
CN1-26	Zero Speed Clamping	ZSL	Type1		ZSL ON: Servo driver is not under the control of analog voltage, and zero speed is output. ZSL OFF: servo driver is under the control of analog voltage	
CN1-36		CZCOM			Common edge of encoder's Z-phase output terminal	
CN1-30	Command Pulse Input	PULS+	Type3	P	Input terminal for external command pulse Note 1: the pulse input modes are set by PA14. Mode of command pulse+ symbol; Mode of CCW/CW command pulse	
CN1-15		PULS-				
CN1-29	Command Pulse Input	SIGN+	Type3	P		
CN1-14		SIGN-				
CN1-31	Shielding Ground Wire	FG				Earthing shielding terminal
CN1-2 CN1-16	Analog Ground	AGND		S		Analog ground
CN1-17	Input Simulation Command	VCMD	Type4	S	Input analog command+-10V Input resistance of 20K	
CN1-1	Input Analog command Ground	SG		S		
CN1-7	Positive Terminal of Hold Output	HOLD+	Type2	S/P	Open-loop output of drain electrode, the photoelectric coupler is open under normal operation. ON is output The power is off and the drive stops. When alarm stops, the photoelectric coupler is closed. OFF is output	
CN1-6	Negative Terminal of Hold Output	HOLD-		S/P		
CN1-27	Code disc Pulse A+	PAOUT+	Type5	S	Feedback output signal of encoder. The standard is 2500/line Output linear speed can be adjusted through electronic gears of output PA 41 and PA42, e.g. if the encoder has 2500 pulses per round, setting PA41/42=4/5, then the A and B-phase signals output from drive unit will be 2500 X PA41/PA42=2000 pluses/round.	
CN1-12	Code disc Pulse A-	PAOUT-		S		
CN1-28	Code disc Pulse B+	PBOUT+				

CN1-13	Code disc Pulse B-	PBOUT-			
CN1-42	Code disc Pulse Z+	PZOUT+			One pulse will be output from one round of the motor.
CN1-43	Code disc Pulse Z-	PZOUT-			

Feedback Signal Terminal CN2

Table 3.3 Encoder Signal Input/Output Terminal CN2

Terminal No.	Terminal Name	Terminal Mark			Color	Functions
		Mark	I/O	Mode		
CN2-5 CN2-6 CN2-17 CN2-18	Power Output+	+5V				Photoelectric encoder of the servo motor employs +5V power supply; When the cable is relatively long, it should use multiple component wires that are connected in parallel.
CN2-1 CN2-2 CN2-3 CN2-4 CN2-16	Power Output-	OV				
CN2-24	Encoder A+ Input	A+	Type4			Connected with A+ phase of the servo motor's photoelectric encoder
CN2-12	Encoder A- Input	A-				
CN2-23	Encoder B+ Input	B+	Type4			Connected with B+ phase of the servo motor's photoelectric encoder
CN2-11	Encoder B- Input	B-				
CN2-22	Encoder Z+ Input	Z+	Type4			Connected with Z+ phase of the servo motor's photoelectric encoder
CN2-10	Encoder Z- Input	Z-				
CN2-21	Encoder U+ Input	U+	Type4			Connected with U+ phase of the servo motor's photoelectric encoder
CN2-9	Encoder U- Input	U-				
CN2-20	Encoder V+ Input	V+	Type4			Connected with V+ phase of the servo motor's photoelectric encoder
CN2-8	Encoder V- Input	V-				

3.3 I/O Interface Principle

1) Switch Value Input Interface

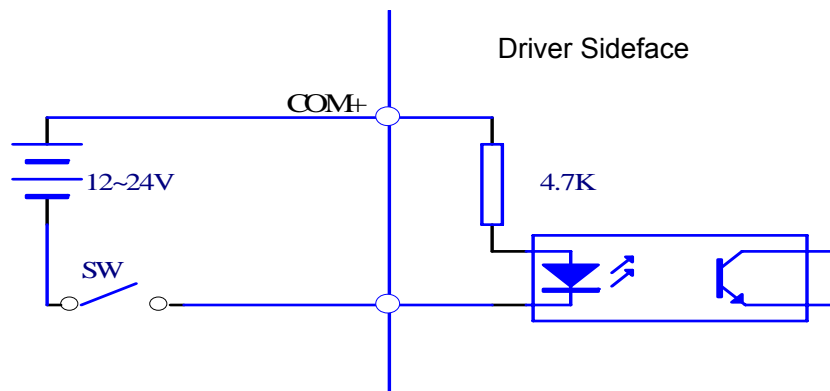


Fig. 3.4 Type1 Switch Value Input Interface

- (1) Power supply is provided by the user, DC12~24V, current \geq 100mA;
- (2) Note: if the electrodes are reversely connected, the servo driver will not work.

2) Switch Value Output Interface

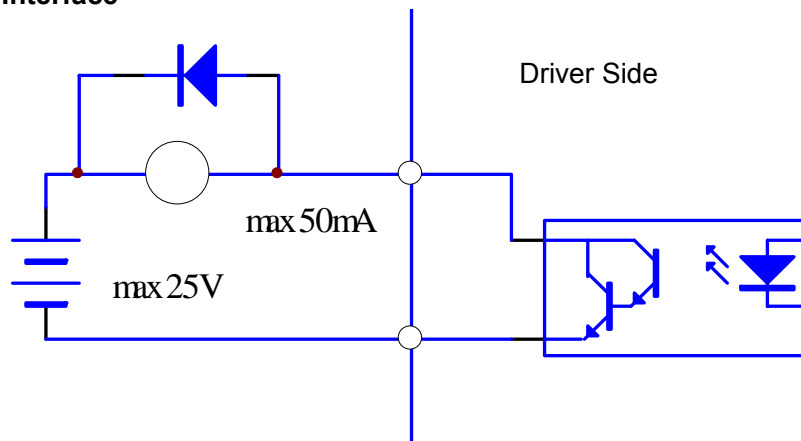


Fig. 3.5 Type2 Switch Value Output Interface

- (1) The external power supply is provided by the user, but attention must be given to the case that if electrodes of the power supply are reversely connected, the servo drive unit may be damaged.
- (2) The output is an open-circuit form of collector, with a maximal current of 50mA and a maximal external power voltage of 25V. Therefore, the load of switch value output signal must satisfy this limited requirement. If the limited requirement is surpassed or the output terminal is directly connected with the power supply, the servo drive unit will be damaged;
- (3) If the loads are inductive ones like relay, two sides of the load must be reversely connected in parallel with the continuous current diode. If the continuous current diode is reversely connected, the servo drive unit will be damaged.

3) Analog Input Interface

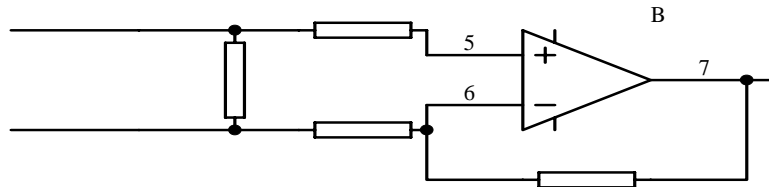


Fig. 3.6 Type4 Analog Command Input Interface

1. Input signal is connected with twisted-pair cable lines.
2. The circuit adopts the enlarged different-mode form, with an input resistance of 20K.

4) Pulse Output Interface

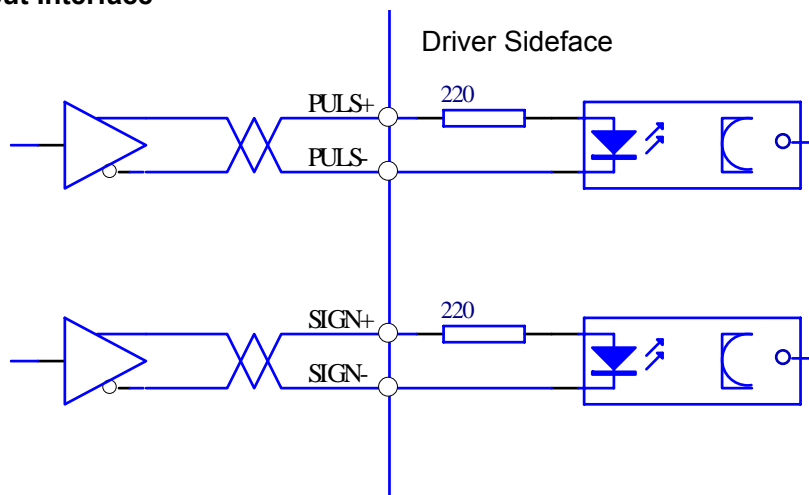


Fig. 3.7 Type3 Differential Drive Mode of Pulse Input Interface

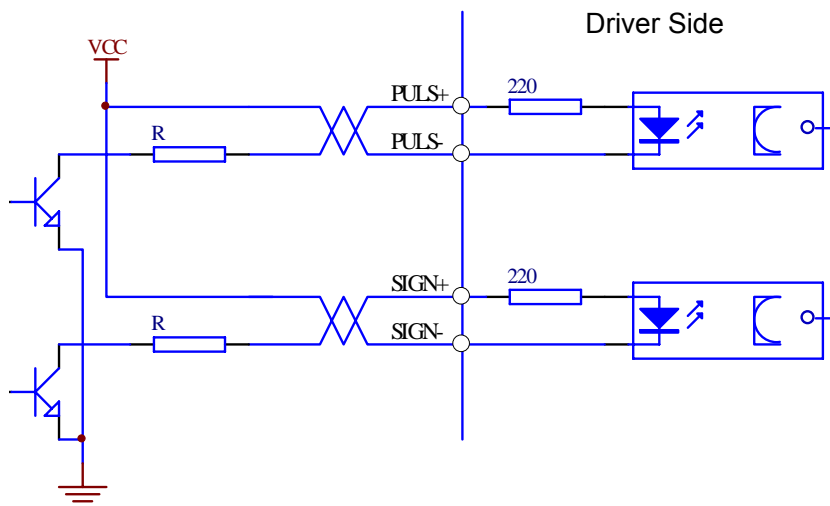


Fig. 3.8 Type4 Uni-polar Drive Mode of Pulse Input Interface

- (1) For correctly transmitting pulse data, it is recommended to adopt the differential drive mode;
- (2) Under differential drive mode, AM26LS31 and MC3487 or similar cable driver of RS422;
- (3) The uni-polar drive mode will reduce the motion frequency. According to the requirements on the pulse amount input circuit: driving current 10~15mA and limited maximal external power voltage of 25V, empirical data are as follows: VCC=24V,R=1.3~2k;VCC=12V,R=510~

820Ω;VCC=5V,R=82~120Ω.

- (4) When adopting uni-polar drive mode, the external power supply will be provided by the user, but attention must be given to the case that if the power electrodes are reversely connected, the servo drive unit may be damaged.
- (5) Refer to Table 3.4 for details about the pulse input forms, in which the arrow means counting trend. Table 3.5 shows the time sequence and parameters for pulse input.

Table 3.4 Pulse Input Forms

Forms of Pulse Command	CCW	CW	Set Parameter Values
Symbol for Pulse Train			0 Command Pulse+ Symbol
CCW Pulse Train CW Pulse Train			1 CCW Pulse/CCW Pulse

Table 3.5 Time sequence Parameters for Pulse Input

Parameter	Differential Drive Input	Uni-polar Drive Input
t_{ck}	>2μS	>5μS
t_h	>1μS	>2.5μS
t_l	>1μS	>2.5μS
t_{rh}	<0.2μS	<0.3μS
t_{rl}	<0.2μS	<0.3μS
t_s	>1μS	>2.5μS
t_{qck}	>8μS	>10μS
t_{qh}	>4μS	>5μS
t_{ql}	>4μS	>5μS
t_{qrh}	<0.2μS	<0.3μS
t_{qrl}	<0.2μS	<0.3μS
t_{qs}	>1μS	>2.5μS

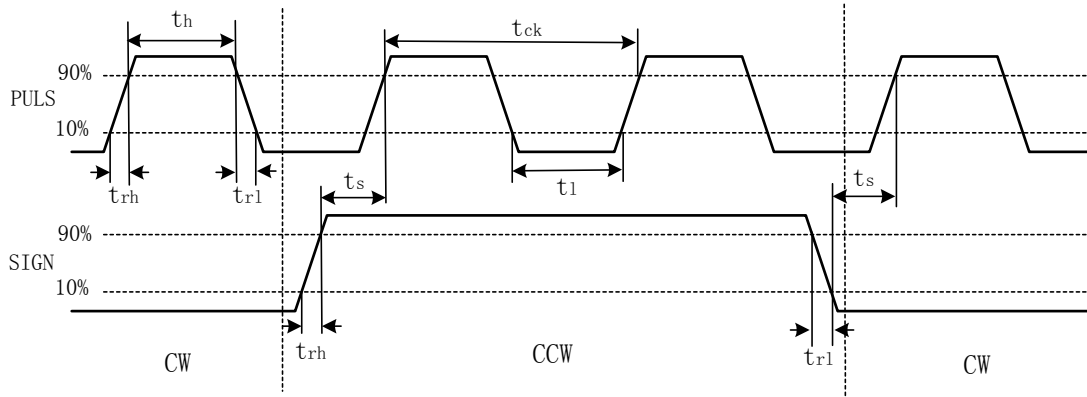


Fig. 3.9 Time sequence Diagram for Pulse+Symbol Input Interface (Maximal Pulse Frequency:500kHz)

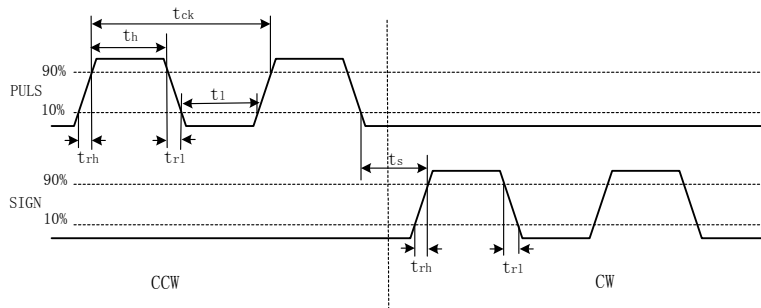


Fig. 3.10 Time sequence for CCW Pulse/CW Pulse Input Interface(Maximal Pulse Frequency:500kHz)

4) Driver Speed Signal Output Interface

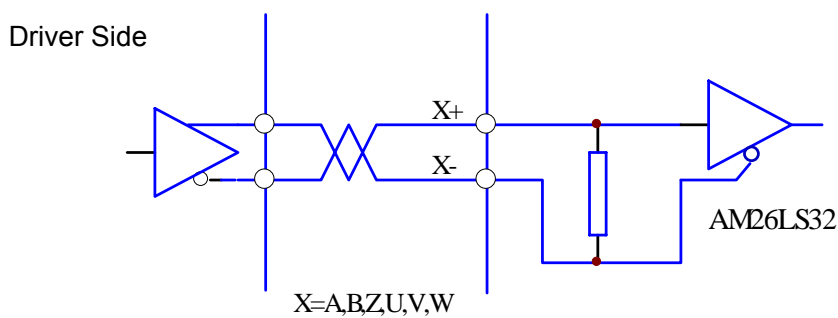


Fig. 3.11 Type5 Driver Speed Signal Output Interface

5) Input Interface for Servo Driver's Photoelectric Encoder

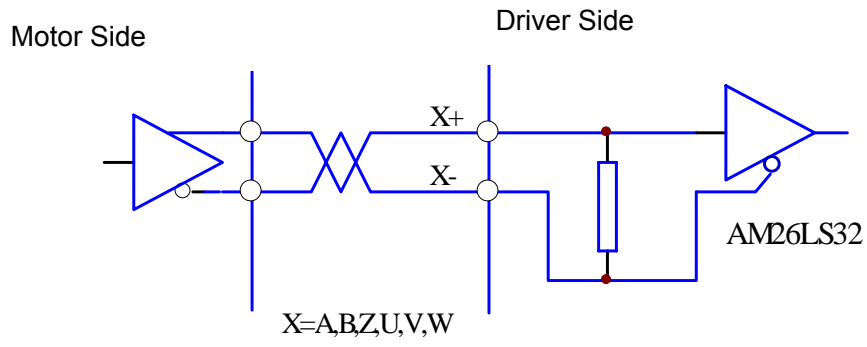


Fig. 3.12 Input Interface for Servo Driver's Photoelectric Encoder

Chapter Four Parameters



Attention

- Personnel involved in parameter adjusting must know parameter meanings for wrong setting may damage the equipment or hurt the personnel.
- It is recommended that the parameters should be adjusted when the motor has no load.
- The default motor parameters are adaptable to GSK SJT and Huazhong ST series of servo motors. If other servo motors are used, the parameters shall be adjusted accordingly; otherwise, the motor may not work normally.

4.1 Checklist of Parameters

- The following factory parameters listed are used to match the drive unit of GSK 10SJT-M020E digital control machine tool (2N.m,3000r/min) as an example. Related parameters of different motors are not the same.
- Software version is V804

Table 4.1 Checklist of Parameters



No.	Name	Mode	Parameter range	Factory Values	Unit
0	Password	P,S	0~9999	315	
1	Model Code	P,S	0~569	30*	
2	Software Version (Read only)	P,S	*	*	
3	Initial Display State	P,S	0~20	0	
4	Choice of Control Mode	P,S	0~5	0	
5	Speed Proportion Gain	P,S	5~2000	100*	Hz
6	Speed Integral Time Constant	P,S	1~1000	20*	ms
7	Torque Command Filter	P,S	1~500	100	%
8	Low pass Filter for Speed Inspection	P,S	1~500	100	%
9	Position Proportion Gain	P	1~1000	40	1/S
10	Position Feed Forward Gain	P	0~100	0	%
11	Low Pass Filter Cut-off Frequency for Position Feed-forward	P	1~1200	300	Hz
12	Position Command Pulse Frequency Division Numerator	P	1~32767	1	
13	Position Command Pulse Frequency Division Denominator	P	1~32767	1	
14	Position Command Pulse Input Mode	P	0~1	0	
15	Position Command Pulse Direction Reversing	P	0~1	0	
16	Range for Positioning Completing	P	0~30000	20	Pulse
17	Inspection Range for Position Excess	P	0~30000	400	×100 Pulse
18	Invalid Position Excess Error	P	0~1	0	
19	Position Command Smoothing Filter	P	0~30000	0	0.1ms
20	Invalid Drive Stopping Input	P,S	0~1	0	
21	JOG Operation Speed	S	-3000~3000	120	r/min
22	Reservation				
23	Maximal Speed Limit	P,S	0~4000	3600	r/min
24	Internal Speed 1	S	-3000~3000	0	r/min
25	Internal Speed 2	S	-3000~3000	100	r/min

26	Internal Speed 3	S	-3000~3000	300	r/min
27	Internal Speed 4	S	-3000~3000	-100	r/min
28	Speed Completing	S	0~3000	500	r/min
29	Reservation				
30	Linear Velocity Conversion Numerator	P,S	1~32767	10	
31	Linear Velocity Conversion Denominator	P,S	1~32767	1	
32	Decimal Position of Linear Velocity	P,S	0~5	3	
33	Zero Speed Scope for Analog Command	S	0~1000	3	
34	Internal CCW Torque Limiting	P,S	0~300	300*	%
35	Internal CW Torque Limiting	P,S	-300~0	-300*	%
36	External CCW Torque Limiting	P,S	0~300	100	%
37	Internal CW Torque Limiting	P,S	-300~0	-100	%
38	Torque Limiting for Speed Trial Operation and JOG Operation	S	0~300	100	%
39	Acceleration Time Constant	S	1~10000	0	ms
40	Deceleration Time Constant	S	1~10000	0	ms
41	Numerator of Output Electronic Gear Ratio	S	1~255	1	
42	Denominator of Output Electronic Gear Ratio	S	1~255	1	
43	Choice of Speed Command	S	0~1	1	
44	High Speed AD Zero Point	S	412~1600	1024	
45	Low Speed AD Zero Point	S	412~1600	1024	
46	Motor Rotation Direction Control	S	0~3	0	
47	Analog Command Gain	S	20~3000	100	
48	Anti-jamming Scope for Analog Command	S	0~1000		
49	Choice of Zero Adjustment Channels for Analog Speed	S	0~1	0	
52	Analog Command Transition Mode	S	0~1	0	
53	Zero-point Slope	S	0~1023	0	

4.2 Functions of Parameters

Table 4.2 Functions of Parameters

No	Name	Functions	Parameter range
0	Password	<p>Prevent the parameters from being wrongly changed. Generally, when needing to set parameters, first set the parameter as the correct password, then set the parameters. After commissioning, reset the parameter back to 0 to ensure that the parameter will not be wrongly changed in the future.</p> <p>Passwords have different classes respectively for user parameters, system parameters and whole parameters.</p> <p>When changing model code parameter (PA1), the model code password must be used. Other passwords can not be used for changing this parameter.</p> <p>User password is 315.</p> <p>Model code password is 385.</p>	0~9999
1	Model Code	<p>Correspond to the same series of drive units and motors with different frequency classes.</p> <p>Different model codes correspond to different default parameter values. And when restoring the function of default parameter values, the parameter concerned must be correct.</p> <p>When EEPROM alarm (No.20) occurs, the parameter must be reset after the repair, then restore the default parameter value. Otherwise, the driver may not work normally or be damaged.</p> <p>When changing the parameter, first set the password PA0 as 385, then the parameter concerned can be changed.</p> <p>Please refer to this chapter for detained meanings about parameters.</p>	0~69
2	Software Version	The software version No. can be checked, but cannot be changed.	*
3	Initial Display State	<p>Select display states of the driver screen after being electrified.</p> <p>0: Display motor rotation rate; 1: Display that current position is lower by 5 (pulses); 2: Display that current position is higher by 5; 3: Display that current position command (means accumulated pulse value) is lower by 5; 4: Display that current position command (means accumulated pulse value) is higher by 5; 5: Display that position error is lower by 5; 6: Display that position error is higher by 5; 7: Display motor torque; 8: Display motor current; 9: Display linear velocity; 10: Display control mode; 11: Display position command pulse frequency; 12: Display speed command; 13: Display torque command; 14: Display absolute position of rotor during one round; 15: Display input terminal state; 16: Display output terminal state; 17: Display encoder input signal; 18: Display operation state; 19: Display alarm code; 20: Reservation.</p>	0~20

4	Choice of Control Mode	<p>①Control mode of the driver can be selected by setting this parameter: 0:Position control mode; 1:Speed control mode; 2:Trial operation control mode; 3:JOG control mode; 4: Encoder's zero adjusting mode. 5: Openn-loop operation mode (used for testing motor and encoder).</p> <p>② Position control mode: position command is input through the pulse input port Speed control mode: speed command is input through the pulse input port or analog input, which can be determined by the parameter (internal and external speed command choice) PA42. When internal speed is employed, the combination of SC1 and SC2 can be used to select different internal speeds. SC1 OFF,SC2 OFF : Internal speed 1 SC1 ON,SC2 OFF : Internal speed 2 SC1 OFF,SC2 ON : Internal speed 3 SC1 ON,SC2 ON : Internal speed 4 Trial operation control mode: the speed command is input through the keyboard, used to test driver and motor. JOG control mode, i.e. itching mode: after the JOG operation is entered, press down  and hold on, the motor will run at JOG speed; leave the key, the motor will stop and keep zero speed; press down  and hold on, the motor will reversely run at JOG speed; leave the key, the motor will stop and keep zero speed. Encoder's zero adjusting mode: used to adjust zero point of the encoder disc when leaving factory</p>	0~5
5	Speed Proportion Gain	<p>Set proportion gain of the speed regulator. The higher the value is set, the gain will be larger and rigidity greater. Parameter value shall be determined by specific models and loads of the servo drive unit. Generally, the greater the load inertia is, the higher the value will be set. Under the condition that the system will not produce vibration, the value can be set as high as possible.</p>	5 Hz ~ 2000Hz
6	Speed Integral Time Constant	<p>Set integral time constant of the speed regulator The lower the value is set, the faster the integral speed will be and the greater the rigidity. Parameter value shall be determined by specific models and loads of the servo drive unit. Generally, the greater the load inertia is, the higher will the value be set. Under the condition that the system will not produce vibration, the value can be set as low as possible.</p>	1 ms ~ 1000ms
7	Torque Command Filter	<p>Set features of the torque command filter to inhibit resonance (sharp vibration noise produced by motor) produced by the torque; If the motor produces sharp vibration noise, please reduce the parameter value; The lower the value is, the smaller the cut-off frequency will be and the less the motor noise. If the load inertia is very great, the set value can be properly reduced. If the value is too low, the response will become slow and may cause instability. The higher the value is, the greater the cut-off frequency will be and the faster the response. If relatively high machinery rigidity is needed, the value can be increased properly.</p>	1%~500%

8	Low Pass Filter for Speed Inspection	<p>Set features of low pass filter for speed inspection. The lower the value is, the smaller will be the cut-off frequency will be and the less the motor noise. If the load inertia is very great, the set value can be properly reduced. If the value is too low, the response will become slow and may cause vibration. The higher the value, the greater the cut-off frequency will be and the faster the response. If relatively fast response is needed, the set value can be properly increased.</p>	1%~500%
9	Position Proportion Gain	<p>Set proportion gain of the position regulator. The higher the value is, the greater the gain will be and the less the position lagging amount will be under the condition of command pulse with the same frequency. But if the value is too high, it may cause vibration or over-adjustment. The parameter is determined by specific models of the servo drive unit and concrete loads.</p>	1~1000 /S
10	Position Feed-forward Gain	<p>Set feed-forward gain of the position loop. When the value is set at 100%, it means that the position lagging value will be always 0 under command pulse with any frequency. If the position feed-forward gain is increased, the high-speed response feature of the control system will be enhanced, but the position loop of the system will be instable and easy to cause vibration. If not specially requiring very fast response, the feed-forward gain of the position loop is generally set as 0.</p>	0%~100%
11	Low Pass Filter Cut-off Frequency for Position Feed-forward	<p>Set low pass filter cut-off frequency of the position feed-forward. The function of this filter is to enhance stability of the composite position control.</p>	1 Hz ~ 1200Hz
12	Position Command Pulse Frequency Division Numerator	<p>Set frequency division of the command pulse (electronic gear). Under position control mode, it can be conveniently matched with various pulse sources by setting PA12 and PA13 parameters, thus reaching the ideal control resolving power (i.e. angle/pulse) required by the user. $P \times G = N \times C \times 4$ P: Pulse number of the input command; G: Electronic gear ratio; $G = \frac{\text{Frequency Division Numerator}}{\text{Frequency Division Denominator}}$ N: Motor rotation rounds; C: Coil round number of the photoelectric encoder. In this system C = 2500. 【Example】 if the input command pulse is 6000, the servo motor rotates one round: $G = \frac{N \times C \times 4}{P} = \frac{1 \times 2500 \times 4}{6000} = \frac{5}{3}$ then the parameter PA12 is set as 5 and PA13 as 3. ⑤ Recommended range of electronic gear ratio: $\frac{1}{50} \leq G \leq 50$</p>	1~32767
13	Position Command Pulse Frequency Division Denominator	<p>①Refer to parameter PA12.</p>	1~32767

14	Position Command Pulse Input Mode	Set input mode of the position command pulse. Three input modes can be set through parameters: 0: Pulse+symbol; 1:CCW pulse/CW pulse; CCW is counter-clockwise rotation observed from the servo motor shaft direction, defined as positive direction. CW is clockwise rotation of observed from the servo motor shaft direction, defined as negative direction.	0~1
15	Position Command Pulse Direction Reversing	Set as 0:Normal; 1: opposite to position command pulse direction.	0~1
16	Range for Positioning Completing	Set pulse range for positioning completing under position control mode. The parameter provides a basis for judging whether drive unit has completed the positioning under position control mode. When the remaining pulse number in the position error meter is less than or the same with this parameter value, the driver is deemed to complete the positioning with the positioning completing signal of COIN ON. Otherwise it will be COIN OFF. SCMP.Under position control mode, the positioning completing signal of COIN is output; under other control modes, the speed completing signal will be output.	0 ~30000 pulses
17	Inspection Range for Position Excess	Set inspection range for position excess alarm. Under the position control mode, position excess alarm will occur in the servo drive unit when the number on the position error meter exceeds this parameter value.	0 ~30000 ×100 pulses
18	Invalid Position Excess Error	①Set as 0: Valid inspection for position excess alarm; 1: Invalid inspection for position excess alarm, stop inspecting position excess error.	0~1
19	Position Command Smoothing Filter	Smoothing filter of the command pulse, acceleration and deceleration with exponential form, and the value means time constant. The filter will not lose input pulse but it may cause delayed command; The filter is used in: Upper controller without deceleration function; Electronic gear with relatively high frequency division (>10); Relatively low command frequency; Motor with leaping-forward and instable steps during operation. When the position points to 0, the filter will not work.	0ms ~30000×0.1 ms
20	Invalid Drive Stopping Input	①Set as 0: Valid CCW and CW drive stopping. When CCW drive stopping switch (FSTP) is ON, CCW drive is allowed; when CCW drive stopping switch (FSTP) is OFF, CCW torque keeps 0. Likewise, if CCW and CW drive stopping switches are both OFF, the alarm for drive stopping input error will occur. 1: Cancel CCW and CW input stopping. No matter what state CCW and CW drive stopping switches are in, CCW and CW drive will be allowed. Meanwhile, if CCW and CW drive stopping switches are both OFF, the alarm for drive stopping input error will not occur.	0~1

21	JOG Operation Speed	Set JOG operation speed.	-3000 r/min ~3000r/min
22	Reservation		
23	Maximal Speed Limit	Set maximal speed limit of the servo motor. Unrelated with the rotation direction. If the set value surpasses the rated rotation rate, the actual highest speed limit will be the rated rotation rate.	0 r/min ~3000 r/min
24	Internal Speed1	Set internal speed 1 Under the speed control mode, the combination of SC1 OFF and SC2 OFF will be used to select internal speed 1 as the speed command.	-3000 r/min ~3000 r/min
25	Internal Speed 2	Set internal speed 1 Under the speed control mode, the combination of SC1 ON and SC2 OFF will be used to select internal speed 2 as the speed command.	-3000 r/min ~3000 r/min
26	Internal Speed 3	Set internal speed 3 Under the speed control mode, the combination of SC1 Off and SC2 ON will be used to select internal speed 3 as the speed command.	-3000 r/min ~3000 r/min
27	Internal Speed 4	Set internal speed 4 Under the speed control mode, the combination of SC1 On and SC2 ON will be used to select internal speed 4 as the speed command.	-3000 r/min ~3000 r/min
28	Speed Completing	Set speed completing. Under non-position control modes, if the motor speed surpasses this set value, the signal of SCMP ON will be output. Otherwise, the signal of SCMP OFF will be output. Under the position control mode, this parameter will not be used. Unrelated to rotation direction. Compared with other apparatus, it has slow-moving feature.	0 r/min ~3000 r/min
30	Linear Velocity Conversion Numerator	Used to display linear operation speed of the system $\text{Linear Velocity} = \text{Motor Velocity (r/min)} \times \frac{\text{Linear Velocity Conversion Numerator}}{\text{Linear Velocity Conversion Denominator}}$ Decimal position of the linear velocity is determined by parameter PA32. 0 means no decimal, 1 means the decimal position is at the tens, 2 means the decimal point is are the hundreds... the process goes on by analogy. 【Example】 If the servo motor drives a 10mm ball lead screw, the linear velocity conversion numerator is set at10, the denominator at 1, and decimal point at 3, then the linear velocity can be displayed on the screen (counted in m/min). When the motor velocity is 500r/min, the linear velocity will be displayed as 5000m/min.	1~32767
31	Linear Velocity Conversion Denominator	①Refer to parameter PA30.	1~32767

32	Decimal Position of Linear Velocity	① Refer to Parameter PA30.	0~5
33	Zero Speed Scope for Analog Command	Since there is jamming in the process of transmitting analog command, the command received is not necessarily 0 when the upper machine gives the analog zero speed command, under which circumstances the motor can not stop steadily and cause shake. The shake caused by jamming can be inhibited by increasing this parameter, but the response speed will be reduced and the processing error be increased at that same time.	0~1000
34	Internal CCW Torque Limiting	Set internal CCW torque limiting for the servo motor. The value set is the percentage of rated torque, e.g., if the value needs to be set is two times as much as the rated torque, set the value at 200. At any time, this limit will be valid. If the value set surpasses the maximal over-loading capacity of the system, the actual torque limiting will be the maximal over-loading capacity permitted by the system.	0%~300%
35	Internal CW Torque Limiting	Set internal CW torque limiting for the servo motor. The value set is the percentage of rated torque, e.g., if the value needs to be set is two times as much as the rated torque, set the value at -200. At any time, this limit will be valid. If the value set surpasses the maximal over-loading capacity of the system, the actual torque limiting will be the maximal over-loading capacity permitted by the system.	-300%~0%
36	External CCW Torque Limiting	Set external CCW torque limiting for the servo motor. The value set is the percentage of rated torque, e.g., if the value needs to be set is as much as the rated torque, set the value at 100. This limiting will be valid only when the input terminal (FIL) for CCW torque limiting is ON. When the limiting is valid, the actual torque limiting will be the minimal one among the three values of maximal over-loading capacity, internal CCW torque limiting and external CCW torque limiting permitted by the system.	0%~300%
37	Internal CW Torque Limiting	Set external CW torque limiting for the servo motor. The value set is the percentage of rated torque, e.g., if the value needs to be set is as much as the rated torque, set the value at -100. This limiting will be valid only when the input terminal (FIL) for CCW torque limiting is ON. When the limiting is valid, the actual torque limiting will be the minimal one among the three values of maximal over-loading capacity, internal CW torque limiting and external CW torque limiting permitted by the system.	-300%~0%
38	Torque Limiting for Speed Trial Operation and JOG Operation	Set torque limiting under the modes of speed trial operation and JOG operation. Unrelated to rotation direction, valid for both directions. The value set is the percentage of rated torque, e.g., if the value needs to be set is as much as the rated torque, set the value at -100. Both internal and external torque limiting will still be valid.	0%~300%

39	Acceleration Time Constant	The set value means the acceleration time of motor ranging from 0r/min to 1000r/min The acceleration and deceleration have a linear feature. Only valid for speed control mode, invalid for position control mode. If the drive unit is used together with external position loop, this parameter shall be set as 0.	1ms ~10000ms
40	Deceleration Time Constant	The set value means the deceleration time of motor ranging from 0r/min to 1000r/min The acceleration and deceleration have a linear feature. Only valid for speed control mode, invalid for position control mode. If the drive unit is used together with external position loop, this parameter shall be set as 0.	1ms ~10000ms
41	Numerator of Output Electronic Gear Ratio	Feedback pulse from each coil of the encoder will be output through the gear within the drive unit. E.g., there are 2500 pulses in each coil of the encoder, setting PA41/42=4/5, then the A and B-phase signals output from the drive unit will be 2500 X PA41/PA42=2000 pulses/coil.	0~255
42	Denominator of Output Electronic Gear Ratio	This parameter must be more than or the same with parameter No.41.	0~255
43	Choice of Speed Command	Whether the operation speed is from internal speed or analog command: 0 Internal speed 1 Analog command	0~1
44	High Speed AD Zero Point	When restoring default value, this parameter will not be recovered.	412~1600
45	Low Speed AD Zero Point	When restoring default value, this parameter will not be recovered.	412~1600
46	Motor Rotation Direction Control	0 Normal 1 Opposite to the analog speed command 2 Opposite to the output pulse rotation direction 3 Opposite to both.	0~3
47	Analog Command Gain	Analog command is transited to speed gain.	20~3000
48	Anti-jamming Scope for Analog Command	The function is the same with parameter No.33, but the function range includes all speeds rather than zero speed only. It is recommended that this parameter not be used simultaneously together with parameter No.33.	0~1000
49	Choice of Zero Adjustment Channels for Analog Speed	0 Low speed AD for low speed and high speed AD for high speed. 1 High speed AD for both high and low speed This parameter is used only for AD zero adjusting: to improve the resolving power of analog command, AD switch with different multiplying factors are employed for high and low speed. First set this parameter as 1 to adjust zero point for high speed AD, then set the parameter as 0 to adjust zero point for low speed AD.	0~1
52	Analog Command Transition Mode	0 Speed AD is transited to speed command with curve of second order 1 Speed AD is transited to speed command with straight line.	0~1

53	Zero-point Slope	When analog command AD is transited to speed command with curve of second order, the zero-point slope for the curve is 1024 times.	0~1023
----	------------------	--	--------

4.3 List for comparison of Modle Codes & Parameters and Motor

Table 4.3 List for Comparison of Parameter No.1 and ST Series of Servo Motors


№1 Parameter	Models and Technical Parameters of Servo Motors	Remarks
30	110ST-M02030H,0.6kw, 300V, 3000r/min 4A, $0.33 \times 10^{-3} \text{kg.m}^2$	
35	110ST-M04030H,1.2kw, 300V, 3000 r/min, 5A, $0.65 \times 10^{-3} \text{kg.m}^2$	
36	110ST-M05030H,1.5kw, 300V, 3000 r/min, 6A, $0.82 \times 10^{-3} \text{kg.m}^2$	
37	110ST-M06020H,1.2kw, 300V, 2000 r/min, 6A, $1.00 \times 10^{-3} \text{kg.m}^2$	
38	110ST-M06030H,1.6kw, 300V, 3000 r/min, 8A, $1.00 \times 10^{-3} \text{kg.m}^2$	※
39	130ST-M04025H,1.0kw, 300V, 2500 r/min, 4A, $0.85 \times 10^{-3} \text{kg.m}^2$	
45	130ST-M05025H,1.3kw, 300V, 2500 r/min, 5A, $1.06 \times 10^{-3} \text{kg.m}^2$	
46	130ST-M06025H,1.5kw, 300V, 2500 r/min, 6A, $1.26 \times 10^{-3} \text{kg.m}^2$	
47	130ST-M07720H,1.6kw, 300V, 2000 r/min, 6A, $1.58 \times 10^{-3} \text{kg.m}^2$	
49	130ST-M10015H,1.5kw, 300V, 1500 r/min, 6A, $2.14 \times 10^{-3} \text{kg.m}^2$	
50	130ST-M10025H,2.6kw, 300V, 2500 r/min, 10A, $2.14 \times 10^{-3} \text{kg.m}^2$	※
51	130ST-M15015H,2.3kw, 300V, 1500 r/min, 9.5A, $3.24 \times 10^{-3} \text{kg.m}^2$	※

Table 4.4 List for Comparison of Parameter No.1 and SJT Series of Servo Motors

№1 Parameter	Models and Technical Parameters of Servo Motors	Remarks
60	110SJT-M020E,0.6kw, 300V, 3000 r/min, 3A, $0.34 \times 10^{-3} \text{kg.m}^2$	
61	110SJT-M040D,1.0kw, 300V, 2500 r/min, 4.5A, $0.68 \times 10^{-3} \text{kg.m}^2$	
62	110SJT-M060D,1.5kw, 300V, 2500 r/min, 7A, $0.95 \times 10^{-3} \text{kg.m}^2$	※
63	130SJT-M040D,1.0kw, 300V, 2500 r/min, 4A, $1.19 \times 10^{-3} \text{kg.m}^2$	
64	130SJT-M050D,1.3kw, 300V, 2500 r/min, 5A, $1.19 \times 10^{-3} \text{kg.m}^2$	
65	130SJT-M060D,1.5kw, 300V, 2500 r/min, 6A, $1.95 \times 10^{-3} \text{kg.m}^2$	
66	130SJT-M075D,1.88kw, 300V, 2500 r/min, 7.5A, $1.95 \times 10^{-3} \text{kg.m}^2$	※
67	130SJT-M100B,1.5kw, 300V, 1500 r/min, 6A, $2.42 \times 10^{-3} \text{kg.m}^2$	
68	130SJT-M100D,2.5kw, 300V, 2500 r/min, 10A, $2.42 \times 10^{-3} \text{kg.m}^2$	※
69	130SJT-M150B,2.3kw, 300V, 1500 r/min, 8.5A, $3.1 \times 10^{-3} \text{kg.m}^2$	※

Note: The driver matched with motors marked with “※” in the above tables shall adopt thicker heat radiator.

Chapter Five Alarming and Handling

 Attention	
●	Personnel involved in examination and repair must possess corresponding professional knowledge and abilities.
●	Do not touch driver and motor at least 5 minutes after the power has been cut off for fear of electric shock and heat injury.
●	After alarm for the failure of drive unit occurs, the unit can only put into operation after the trouble is shot according to the alarm code.
●	Do confirm that the SON (servo ready) signal is invalid before resetting the alarm for fear that the sudden starting of motor may cause accidents.

5.1 List of Alarms

Table 5.1 List of Alarms

Alarm Codes	Alarm name	Contents
0	Normal	
1	Excessive Speed	Speed of the servo motor exceeds the set value
2	Over-voltage in Main Circuit	Voltage of the main circuit power is excessive
3	Voltage Shortage in Main Circuit	Voltage of the main circuit power is too low
4	Position Excess	Value in the position error meter surpasses the set value.
5	Motor Overheating	Excessively high motor temperature
6	Saturation Failure of Speed Regulator	Long-time saturation of the speed regulator
7	Abnormal Drive Stopping	Both CCW and CW drive stopping are OFF.
8	Overflow of Position Error Meter	Absolute Value of the number in the position error meter exceeds 2^{30}
9	Encoder Failure	Encoder signal error
10	Voltage Shortage in Control Power	The control power of $\pm 15V$ is on the low side
11	IPM Module Failure	IPM intelligent module breaks down
12	Excessive Current	Excessive motor current
13	Overload	Overload in servo driver and motor (instantaneous overheating)
14	Braking Failure	Failure in braking circuit
15	Counting Error of Encoder	Abnormal counting in Encoder
20	EEPROM Error	EEPROM Error
30	Z Pulse Losing in Encoder	Wrong Z pulse in encoder
31	UVW Signal Error in Encoder	Encoder's UVW signal is wrong or not matchable with encoder
32	Code Violation of Encoder's UVW Signal	or all-low level exists in UVW signal

5.2 Methods for Handling Alarms

Table 5.2 Methods for Handling Alarms

Alarm Code	Alarm Name	Operation State	Reasons	Handling Methods
1	Excessive Speed	Occur when switching on the control power	①Failure in control power board ②Encoder failure	①Replace servo driver. ②Replace servo motor.
		Occur during motor operation	Excessively high input command pulse frequency.	Correctly set the input command pulse.
			Excessively small acceleration/deceleration time constant results in overshoot.	Increase acceleration/deceleration time constant.
			The input electronic gear ratio is excessively high.	Correctly set the ratio.
			Encoder failure.	Replace servo motor.
			Bad encoder cable.	Replace encoder cable.
			Instable servo system causes overshoot.	①Reset related gains. ②If the gains cannot be set at a proper value, reduce inertia rate for load rotation
		Occur immediately after the motor is started	Excessively large load inertia.	①Reduce load inertia. ②Replace it with driver and motor of greater frequency.
			Zero-point error in encoder.	①Replace servo motor ②Contact the manufacturer for readjusting the zero point.
			①Wrong connection of motor leads of U, V and W. ②Wrong connection of encoder cable leads	Correct wiring.
2	Over-voltage in Main Circuit	Occur when switching on control power	Failure in circuit board.	Replace servo drive unit.
		Occur when switching on main power supply	①Excessively high power voltage. ②Abnormal wave pattern of power voltage.	Examine the power supply source.
		Occur during motor operation	Disconnection of braking resistance.	Rewiring.
			①Braking transistor is damaged. ②Internal braking resistance is damaged.	Replace servo drive unit.
		Insufficient capacity in the braking return circuit.	①Reduce start/stop frequency. ②Increase acceleration/deceleration time constant. ③Reduce torque limiting value. ④Reduce load inertia. ⑤Replace it with driver and motor of greater frequency.	





3	Voltage Shortage in Main Circuit	Occur when switching on main power supply	①Failure in circuit board. ②Power fuse is damaged. ③Failure in soft start circuit. ④Damaged rectifier.	Replace servo drive unit.
			①Excessively low power voltage. ②Temporary power failure for more than 20mS.	Examine the power supply.
3	Voltage Shortage in Main Circuit	Occur during motor operation	①Insufficient power capacity . ②instantaneous power failure.	Examine the power supply.
			Heat radiator overheating.	Examine load.
4	Position Excess	Occur when switching on control power	Failure in circuit board.	Replace servo driver.
		After switching on main power supply and control wire, the motor does not work when inputting command pulse	①Wrong connection of motor leads of U, V and W. ②Wrong connection of encoder cable leads.	Correct wiring.
			Encoder failure.	Replace servo motor.
			Set inspection range for position excess.	Extend inspection range for position excess.
			Position proportion gain is too small.	Increase the gain.
			Insufficient torque.	①Examine torque limiting value. ②Reduce loading capacity. ③Replace it with drive unit and motor of greater frequency.
Excessively high command pulse frequency.	Reduce the frequency.			
5	Motor overheating	Occur when switching on control power	Failure in circuit board. ①Cable disconnection . ②Internal temperature relay of motor is damaged.	Replace servo drive unit. ①Examine cable. ②Examine motor.
		Occur during motor operation	Motor overload.	①Reduce load. ②Reduce start/stop frequency. ③Reduce torque limiting value. ④ Reduce related gain. ⑤Replace drive unit and motor of greater frequency.
			Internal failure in motor.	① Replace servo motor.
6	Saturation Failure of Speed Regulator	Occur during motor operation	Motor gets stuck by the machinery.	Examine machinery part of the load.
			Overload.	①Reduce load. ②Replace it with drive unit and motor of greater frequency.
7	Abnormal Drive Stopping		Disconnection of CCW and CW drive stopping input terminal.	Examine the wire connection and power of the input terminal.





8	Overflow of Position Error Meter		①The motor get stuck by the machinery. ②Abnormal input command pulse.	①Examine the machinery part of the load. ②Examine command pulse. ③.Examine whether the motor works after receiving command pulse
9	Encoder failure		Wrong connection of encoder.	Examine wire connection.
			Damaged encoder.	Replace motor.
			Bad encoder cable.	Replace cable.
9	Encoder Failure		Excessively long encoder cable results in low power voltage of encoder.	①Shorten cable. ②Supply power with multiple core wires connected in parallel.
10	Voltage Shortage in Control Power		Low input control power.	Examine control power.
			①Internal connectors of driver have bad performance. ②Abnormal switch power. ③Damaged chip.	①Replace drive unit. ②Examine connector. ③Examine switch power.
11	Encoder Failure	Occur when switching on control power	Failure in circuit board.	Replace servo drive unit.
		Occur during motor operation	①Excessively low power voltage. ②Overheating.	①Examine drive unit. ②Re-electrify. ③Replace drive unit.
			Short circuit between motor leads of U, V and W.	Examine wire connection.
			Bad ground contact.	Correct ground contact.
			Damaged motor insulation.	Replace motor.
			Be jammed.	①Add circuit filter. ②Keep away from jamming source
12	Excessive Current		Short circuit between motor leads of U, V and W.	Examine wire connection.
			Bad ground contact.	Correct ground contact.
			Damaged motor insulation.	Replace motor.
			Damaged driver.	Replace drive unit.
13	Overload	Occur when switching on control power	Failure in circuit board.	Replace servo drive unit.
		Occur during motor operation	Operation by exceeding rated torque.	①Examine load. ②Reduce start/stop frequency. Reduce torque limiting value. Replace it with drive unit and motor of greater frequency
			Hold brake cannot be opened.	Examine the hold brake.
			Instable motor with vibration.	①Increase gain. ②Increase acceleration/deceleration time. ③reduce load inertia.



			①One phase of U, V and W is disconnected. ②Wrong connection of encoder.	Examine wire connection.
14	Braking failure	Occur when switching on control power	Failure in circuit board.	Replace servo drive unit.
		Occur during motor operation	Disconnection of brake resistance. ①Damaged brake transistor. ②Internal brake resistance is damaged.	Re-wiring. Replace servo drive unit.
14	Braking failure	Occur during motor operation	Insufficient capacity in the brake loop.	①Reduce stop/start frequency. ②Reduce acceleration/deceleration time. ③Reduce torque limiting value. ④Reduce load inertia. ⑤Replace drive unit and motor of greater frequency.
			Excessively high main circuit power voltage.	Examine main circuit.
15	Counting Error of Encoder		Damaged encoder.	Replace motor.
			Wrong connection of encoder.	Examine wire connection.
			Bad ground contact.	Correct ground contact.
20	EEPROM Error		Damaged chip or circuit board.	Replace servo drive unit. .After repair, first reset driver model (parameter No.1), then restore default parameter value.
30	Z Pulse Losing in Encoder		Z pulse does not exist; damaged encoder Bad cable Bad cable shielding Bad connection between shielded wire and shielding layer Failure in encoder's interface circuit	Replace encoder Examine encoder's interface circuit
31	UVW Signal Error in Encoder		Damaged UVW signal of encoder Damaged Z signal of encoder Bad cable Bad cable shielding Bad connection between shielded wire and shielding layer Failure in encoder's interface circuit	Replace encoder Examine encoder interface circuit
32	Code Violation of Encoder's UVW Signal		Damaged UVW signal of encoder Bad cable Bad cable shielding Bad connection between shielded wire and shielding layer Failure in encoder's interface circuit	Replace encoder Examine encoder interface circuit

Chapter Six Display and Operation

6.1 Keyboard Operation

- The panel of drive unit is composed of six-phase LED nixie tube display and four keys of    , which are used to display states of drive units and set parameters. The specific functions of the keys are as follows :

- : Increase serial number and value or forward operation.
- : Decrease serial number and value or backward operation.
- : Return to the preceding layer of men or cancel the operation.
- : Enter the next layer of menu or confirm the input.

Note: Press down  or  and hold on, the operation will be repeated. The longer the key is kept being pressed down, the faster the repetition frequency will be.

- The six-phase LED nixie tube display can show various states and data about the system. If decimal point of all the nixie tubes or the nixie tube on the fastest right side keeps flashing, it means alarm.
- Operation is conducted according to multi-layer menu, in which the first layer is the main menu, including eight operation modes; the second layer is functional menu to the operation mode under first layer. Fig. 6.1 is a block chart for operations in the main menu, as shown in the following:

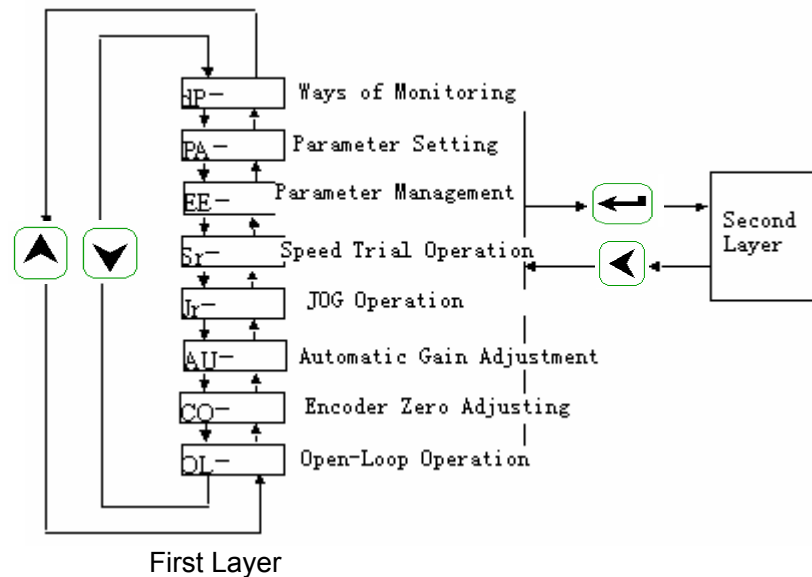






Fig. 6.1 Block Chart for Operation Mode Selection

6.2 Ways of Monitoring

Select “dP-” In the first layer and press down , then you will enter the ways of monitoring, in which there are 21 display states. Use  and  to select the display mode, then press down  to enter the specific display state.

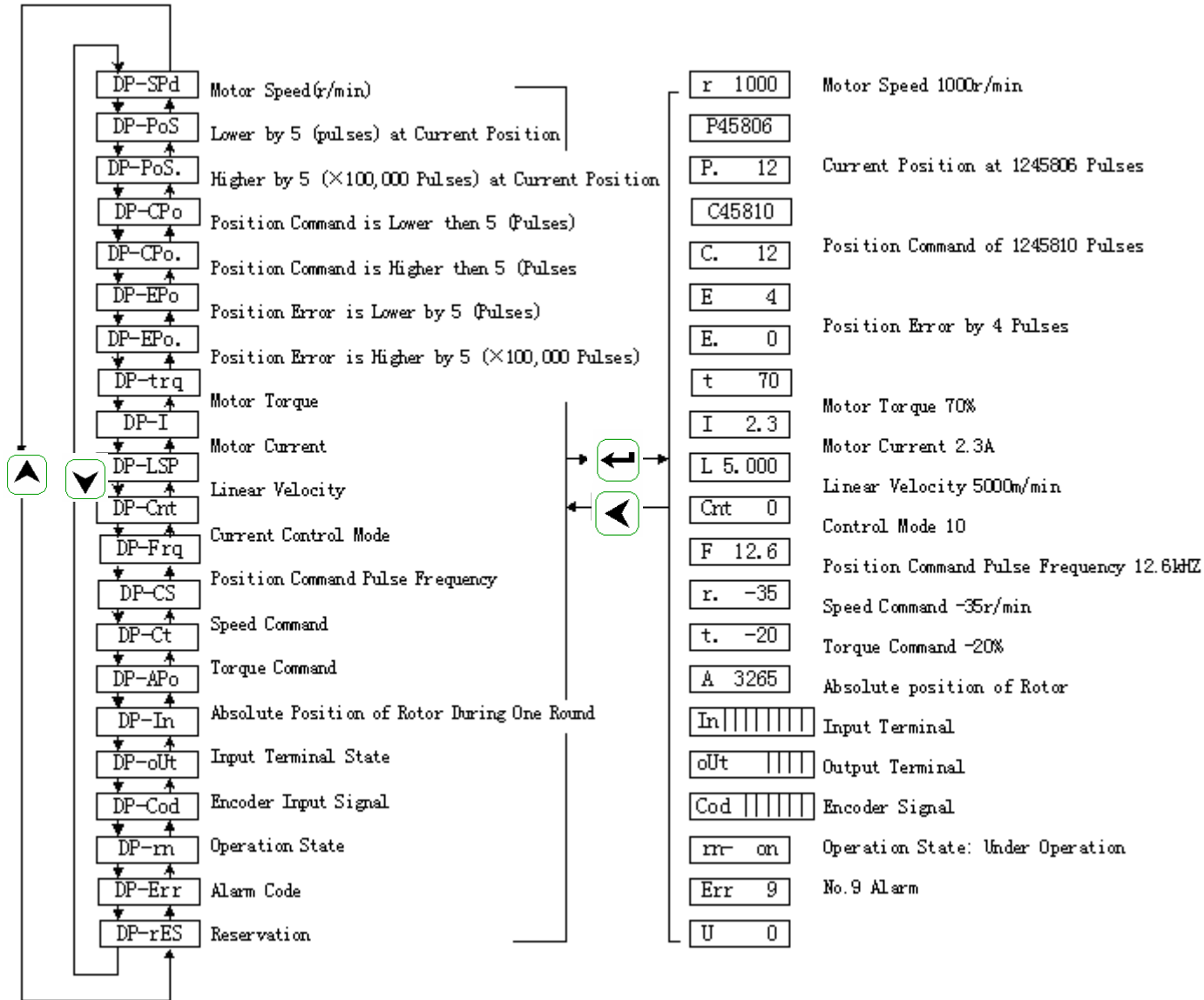


Fig. 6.2 Operation Chart for Ways of Monitoring

Note 1: Position and command pulse are both values multiplied by input electronic gear.

Note 2: Pulse unit is the internal pulse unit of the system, where it means 100,000 pulses/round. The pulse is expressed by value higher by 5 plus value lower by 5. The calculation method is: $Pulse = (value\ higher\ by\ 5) \times 100,000 + value\ lower$

by 5.

Note 3: Control mode: 0---position control; 2---speed control;3---speed trial operation; 3---JOG operation;4---encoder zero adjusting;5---open-loop operation.

Note 4: If the displayed number reach 6 digits (like 123456), the hint characters will not be shown.

Note 5: Position command pulse frequency is the actual pulse frequency before being multiplied by the input electronic gear, with a minimal unit of 0.1kHz. Forward-direction display stands for positive number and reverse-position display for negative number.

Note 6: The calculation method for motor current I is : $I = \sqrt{\frac{2}{3}(I_U^2 + I_V^2 + I_W^2)}$

Note 7: Absolute position of rotor during one round stands for the position of rotor in relative to stator during the round. One round is taken as a cycle, ranging from 0 to 9999.

Note 8: Input terminal is shown in Fig. 6.3; the output terminal is shown in Fig. 6.4; and encoder signal is shown in Fig. 6.5

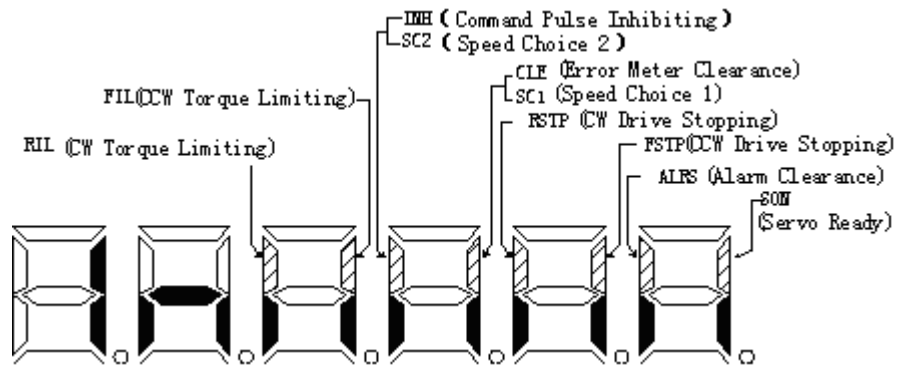


Fig. 6.3 Input Terminal Display (dot shining means ON and stop shining means OFF)

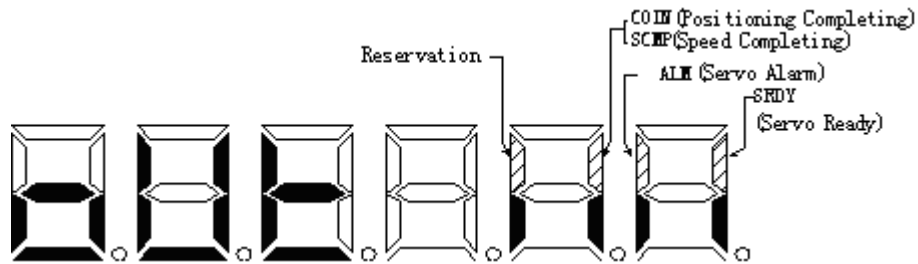


Fig. 6.4 Output Terminal Display (dot shining means ON and stop shining means OFF)

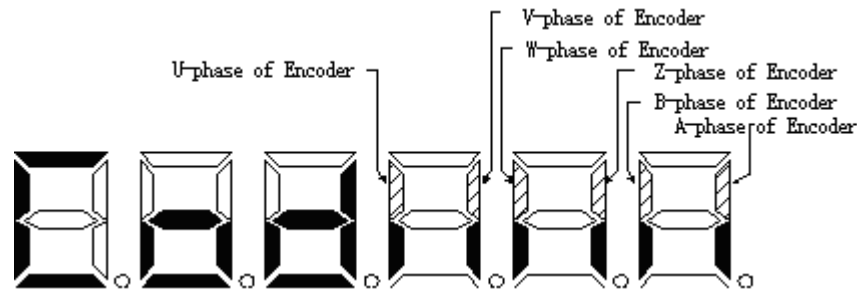



Fig. 6.5 Encoder Signal Display (dot shining means ON and stop shining means OFF)

Note 1: Operation states are expressed as:

















- “cn- oFF” : The main circuit is not discharged and the servo system does not work;
- “cn- CH” : The main circuit is charged but the servo system does not work (the servo is not on or alarm occurs);
- “cn- on” : The main circuit is charged and the servo system is under operation,

Note 2: Linear velocity only displays 4 digits.

6.3 Parameter Setting

 **Attention**

- Only after No.0 parameter is set as the corresponding value can other parameters be changed.
- Except No.1 parameter, the parameter will take effect immediately after it is set. Wrong parameter setting may cause wrong operation of the equipment, which will result in accidents.

Select “PA-” in the first layer, then press down  to enter the parameter setting mode. Use  and  to select serial number of the parameter and enter  to display the value, which can be changed by using  and . Click  or  for one time, the parameter value will be increased or decreased by 1; press down  or  and hold on, the parameter value will be increased or decreased continuously. When the parameter is changed, the decimal point on LED nixie tube at the furthest right side will shine, then press down  to confirm the validity of the parameter changed and the decimal point will stop shining. The changed parameter value will be immediately reflected in the control operation. Use  or  to go on with parameter changing, after which click down  to return to the parameter selecting mode. If you are not satisfied with the changed parameter value, do not press down  for confirmation but use  to cancel the parameter changing operation, restore the original value and return to the parameter selecting mode.

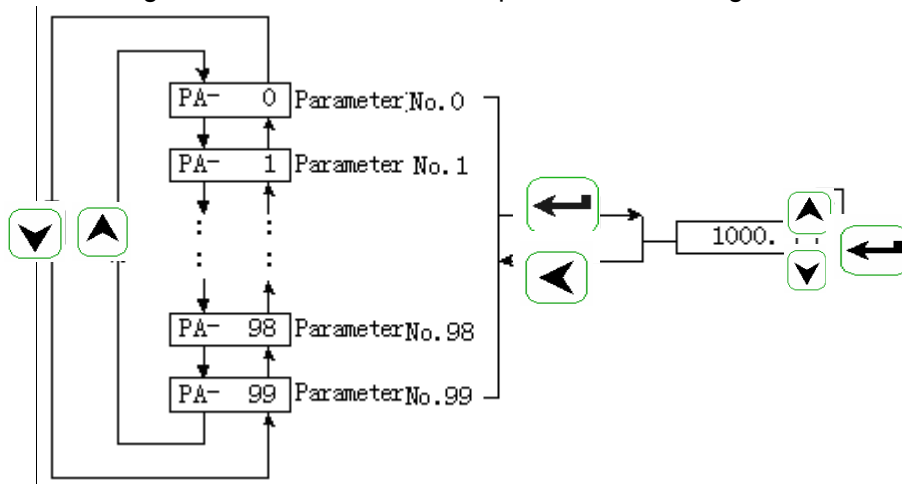








Fig. 6.6 Operation Chart for Parameter Setting

6.4 Parameter Management

 **Attention** If the writing-in operation fails to be implemented to the changed parameter, the value will not be stored and the change will go invalid after power off.

Parameter management mainly involves operations between memory and EEPROM. Select “EE-” in the first layer and press down  to enter the parameter management mode. First select an operation mode in the five modes with  and . Take “parameter writing-in” operation for example, first select “EE-Set”, then press down  and hold on for at least 3 seconds. If the operation is successful, “FINISH” will be shown on the display; if it fails, “Error” will appear on the display. Re-press down  to return to the operation mode selecting state.

- **EE—SEt** Write in parameter, i.e., write the parameter in the memory into the parameter area of EEPROM. When the user changes the parameter, it is only the parameter in the memory that is changed, and the parameter value will be restored after the power is switched on the next time. If you want to permanently change the parameter value, you have to implement the writing in operation, by which means you can write the parameter in the memory into the parameter area of EEPROM and you can use the changed parameter after power is switched on the next time.
- **EE—rd** Read parameter, i.e. the parameter will be red into the memory from the parameter area of EEPROM. This process will be automatically implemented after the power is switched on. In the beginning, the parameter value in the memory is the same with that in the parameter area of EEPROM. But after the user changes the parameter, the value in the memory will be changed; when the user is not satisfied with the changed parameter or the parameter is adjusted in a disorderly way, the parameter reading operation can be implemented for reading the data in the parameter area of EEPROM back into the memory and restoring the parameter value at the power-on time.
- **EE—bA** Back up parameter, i.e., write the parameter in the memory into the backup area of EEPROM. The whole EEPROM is divided into parameter area and backup area. System electrifying, parameter writing in and parameter reading operations all use parameter area of EEPROM, while parameter and recovery backup use the backup area of EEPROM. In the process of parameter setting, if the user is relatively satisfied with a set of parameters but want to make further changes, he or she can first implement the recovery backup operation, by which means the parameters in the memory will be stored in the backup area of EEPROM, then change the parameters. If the effect is not so good, the user can implement the recovery backup operation, in which way the parameters stored in the backup area of EEPROM will be red back into the memory. Then the user can continue with the revision or choose to stop. In addition, after the parameter is set, the user can implement the two operations of parameter writing in and parameter backup to render data in the parameter area and backup area identical with each other; so in case that the parameter is inadvertently changed, the recovery backup operation can be conducted to read the data in the backup area of EEPROM into the memory and then the parameter reading operation can be carried out to write the parameter in the memory into the parameter area of EEPROM.

- **EE-rS** Recovery backup, i.e., read data in the recovery area of EEPROM into the memory. What needs to be noted is that the parameter writing in operation is not implemented in this operation, so it is still the data in the parameter area of EEPROM that is red into the memory. If the user wants to permanently use the parameter in the backup area of EEPROM, he or she can conduct the parameter writing in operation.
- **EE-dEF** Restore default value, i.e., all the default parameter values (factory values) will first be red into the memory and then written into the parameter area of EEPROM, thus the default parameter value will be used after the power is switched on the next time. When the user adjusts the parameter in a disorderly way and the system cannot work, he or she can implement this operation to restore all the parameters back to the factory leaving conditions. Since different driver models correspond to different default parameter values, the driver models must be ensured to be correct when restoring the default parameters.

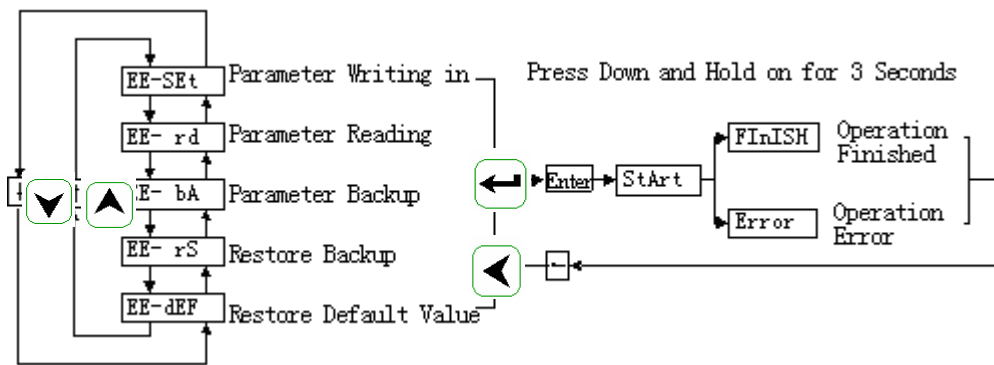


Fig. 6.7 Operation Chart for Parameter Management

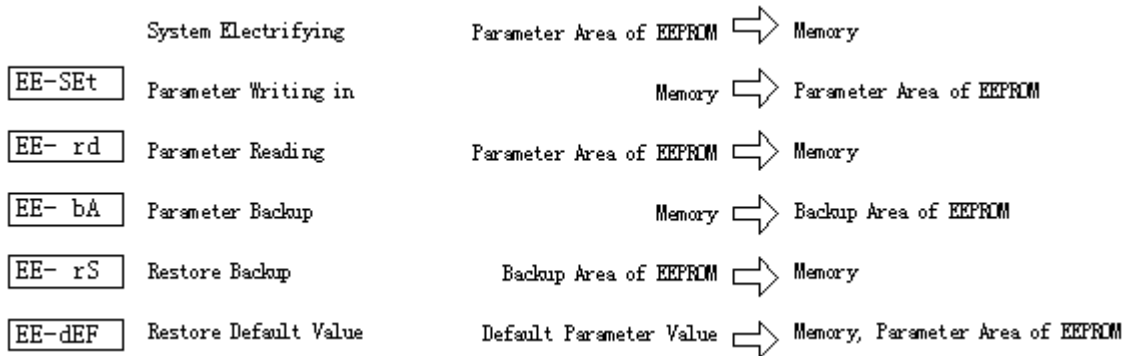


Fig. 6.8 Operation Meaning for Parameter Management

Attention

- It is recommended that speed trial operation and JOG operation should be conducted when the motor does not have load for preventing equipment accidents.
- During the trial operation, the driver SON should be valid while CCW and CW drive stopping should be invalid.

6.5 Speed Trial Operation

Select "Sr-" in the first layer and click to enter the trial operation mode. The hint character

for speed trial operation is “S” and the value unit is r/min. When the system is under speed control mode, the speed command will be provided by the keys. The speed command can be changed by ▲ or ▼ and the motor will run at the given speed. ▲ is used to increase the speed in positive direction and ▼ to decrease the speed in positive direction (increase in the negative direction). When the speed is a positive value, the motor will rotate in positive direction; when the speed is a negative value, the motor will rotate in negative direction.

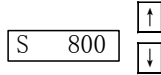


Fig.6.9 Speed Trial Operation Chart

6.6 JOG Operation

Select “Jr-” in the first layer and click ← to enter the JOG operation mode, i.e. itching mode. The hint character for JOG operation is “J” and the value unit is r/min. When the system is under speed control mode, the speed command will be provides by keys. After entering the JOG operation, press down ▲ and hold on, then the motor will run at the JOG speed; release the key, the motor will stop and keep zero speed. Press down ▼ and hold on, the motor will run in the reserve direction; release the key, the motor will stop and keep zero speed. JOG speed is set through No.21 parameter.

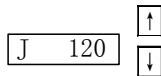


Fig. 6.10 JOG Operation Chart

6.7 Others

The function of automatic gain adjustment is under development and cannot be provided temporarily.

The function of encoder zero adjusting is used by the motor manufacturer, so the user shall not use it.

Open-loop operation mode is used by the motor manufacturer, so the user shall not use it.

Chapter Seven Operation by Switching on Power

 **Attention**

- The drive unit and motor must have reliable ground contact; PE terminal must be safely connected with the grounding terminal of equipment.
- It is recommended that the power should be supplied through isolating transformer and power filter for the purpose of ensuring safety and anti-jamming abilities.
- Only after examining and confirming that the wire is connected correctly can the power be switched on.
- An emergency stop circuit must be coupled in to ensure that the power can be immediately cut off in case of failure (see Fig. 7.1).
- After the alarm for failure in drivin unit occurs, confirm that the trouble has been shot and that the SON signal is invalid before restarting the system.
- Do not touch the drive unit and motor at least 5 minutes after the power is off for fear of electric shock.
- After some time of operation, the drive unit and motor may have a relatively high temperature. Be careful not be burned.

7.1 Power Supply Connecting

Refer to Fig. 7.1 for power supply connecting and connect the power supply according to the following order:

- 1) Connect the power supply with input terminal of main circuit power (the three phases are connected with R, S and T; and the single phase is connected with R and S) through electromagnetic contactor.
- 2) Power supply r and t in the control circuit shall be connected at the same time with or prior to main circuit power. If only the control power is connected, the servo ready signal (SRDY) will be OFF.
- 3) After the main circuit power is connected, the servo ready signal (SDRY) will be ON with a time delay of 1.5 seconds, then the servo on signal (SON) can be received. After detecting validity of the servo on signal, the driver output will be valid, and the motor will be activated and under the operation state; when detecting invalidity of the servo on signal or alarm, the base electrode circuit will be closed and the motor will be under free state.
- 4) When servo on is connected with the power supply, the base electrode circuit will be connected after 1.5 seconds or so.
- 5) A frequent connection of the cut-off circuit may damage the soft start circuit and consume energy of the brake circuit. The connection frequency shall be best limited to less than 5 times per hours and 30 times per day. After the trouble for overheating in the drive unit or motor has been shot, the power can only be switched on after 30 minutes of cooling down.

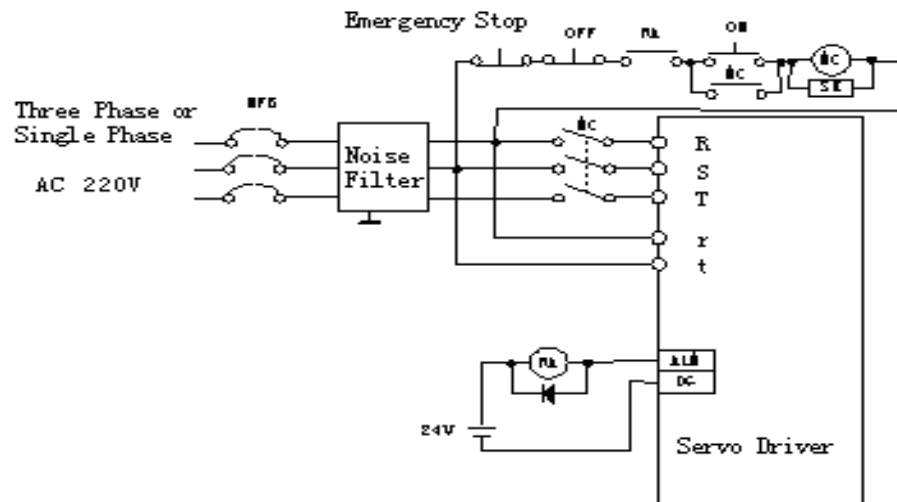


Fig. 7.1 Power Supply Connecting

Time sequence for Power Supply Connecting and Alarming:

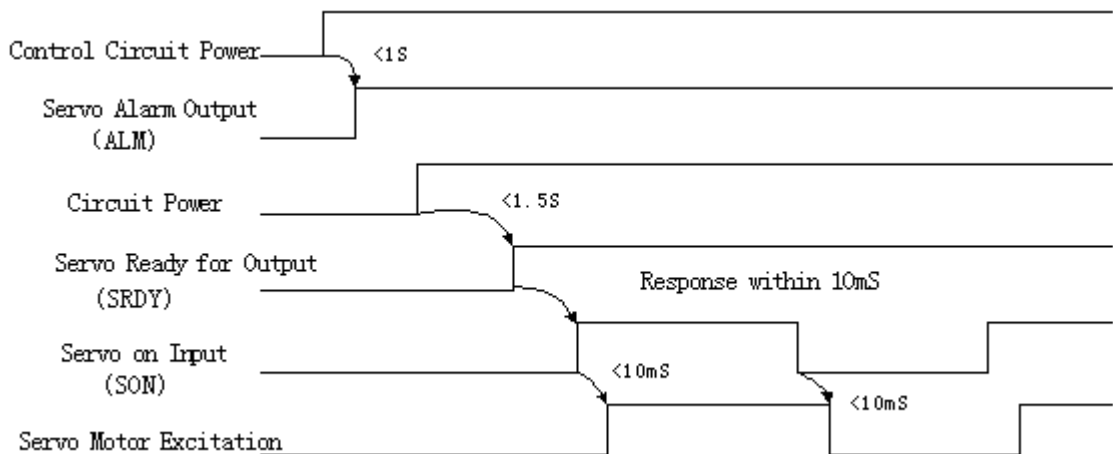


Fig. 7.2 Time sequence for Power Supply Connecting

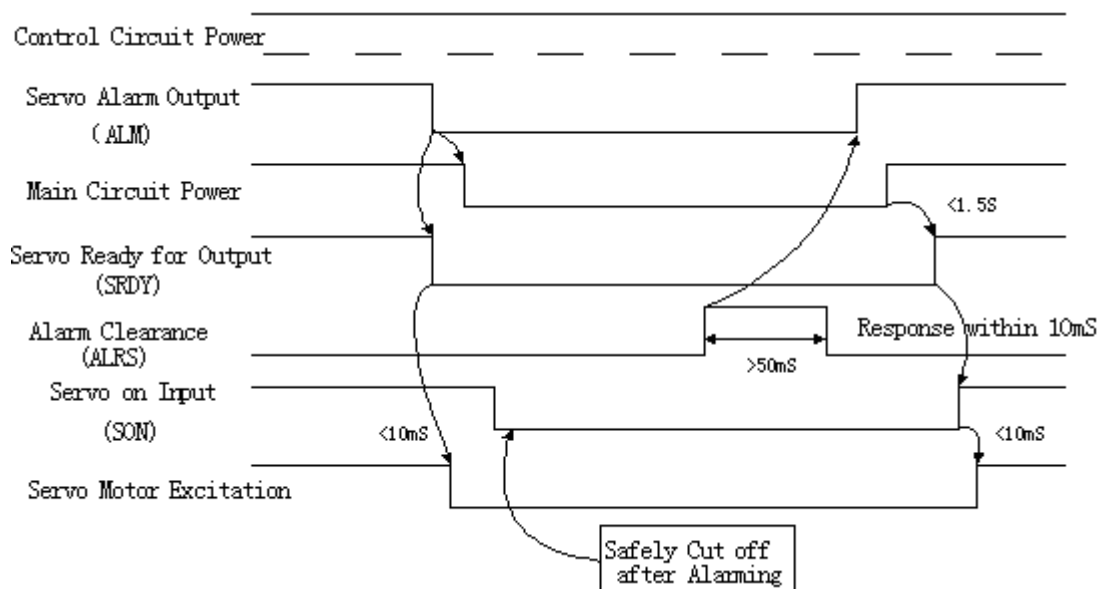


Fig. 7.3 Time sequence for Alarming

7.2 Trial Operation



1) Pre-operation Examination

After installment and wiring have been completed, the following items shall be examined before switching on the power:



- Whether the wiring and reliable input voltage are correct in the power supply terminal TB.
- Whether the power supply wire and motor wire have short circuit or ground contact.
- Whether the encoder cable has correction wiring.
- Whether the wiring, power supply electrode and voltage are correction in the control signal terminal.
- Whether the drive unit and motor have been firmly installed.
- Whether the motor shaft is connected with load.

2) Trail Operation by Switching on Power

(1) Trail Operation

- ① Connect CN1 and set the input control signals as: servo on (SON) OFF, CCW drive stopping (FSTP) ON, CW drive stopping (RSTP) ON.
- ② Switch on control circuit power (temporarily not switching on the main circuit power) and the point on the display of the drive unit will shine. If alarm occurs, examine the wiring.
- ③ Set the control mode (parameter No.4) as speed trail operation mode (set as 2).
- ④ Switch on the main circuit power.
- ④ Render servo on (SON) ON after confirming that there is no alarm or any other abnormal condition, then the motor will be activated and under the state of zero speed.
- ⑥ Enter the speed trial operation mode through key operation. The hint character for speed trial operation is "S" and the value unit is r/min. When the system is under the speed control mode, the speed command will be provided by the keys. The speed command can be changed by  or  and the motor will run at the given speed.

(2) JOG (Itching) Operation

- ① Connect CN1 and set the input control signals as: servo on (SON) OFF, CCW drive stopping (FSTP) ON, CW drive stopping (RSTP) ON.
- ② Switch on control circuit power (temporarily not switching on the main circuit power) and the point on the display of the drive unit will shine. If alarm occurs, examine the wiring.
- ③ Set the control mode (parameter No.4) as JOG operation mode (set as 3).
- ④ switch on the main circuit power..
- ⑤ Render servo on (SON) ON after confirming that there is no alarm or any other abnormal condition, then the motor will be activated and under the state of zero speed.
- ⑥ Enter the speed trial operation mode through key operation. The hint character for speed trial operation is "J" and the value unit is r/min. When the system is under the speed control mode, the speed value and direction will be determined by the keys. With , the motor will run at the speed and direction determined by parameter No.21; with , the motor will run in the reserve direction at the given speed.

(3) Operation under Position Control Mode

- ① Connect CN1 and set the input control signals as: servo on (SON) OFF, CCW drive stopping (FSTP) ON, CW drive stopping (RSTP) ON.
- ② Switch on control circuit power (temporarily not switching on the main circuit power) and

the point on the display of the drive unit will shine. If alarm occurs, examine the wiring.

- ③ Set the control mode (parameter No.4) as position operation mode (set as 0). According to the way of inputting signals by controller, the user shall set parameter No.14 and proper electronic gear ratio (No.12 and No.13).
- ④ Switch on the main circuit power.
- ⑤ Render servo on (SON) ON after confirming that there is no alarm or any other abnormal condition, then the motor will be activated and under the state of zero speed.
- ⑥ The output signal of operation position controller is transmitted to the driving foot of CN1-6, 18, 7 and 19, and the motor will run according to the command.

(4) Operation under Speed Control Mode

The speed operation mode can be divided into external speed control by analog voltage and internal speed control.

External Speed Control by Analog Voltage

- ① Connect CN1 and set the input control signals as: servo on (SON) OFF, CCW drive stopping (FSTP) ON, CW drive stopping (RSTP) ON.
- ② Switch on control circuit power (temporarily not switching on the main circuit power) and the point on the display of the drive unit will shine. If alarm occurs, examine the wiring.
- ③ Set the control mode (parameter No.4) as speed operation mode (set as 1), and set the PA43 parameter as 1.
- ④ Switch on the main circuit power.
- ⑤ Render servo on (SON) ON after confirming that there is no alarm or any other abnormal condition, then the motor will be activated and under the operation state of external control speed by analog voltage.

Analog speed zero adjusting:

- 1) Set PA49 parameter as 1;
 - 2) Switch display to "DP-SPD";
 - 3) Observe current rotation rate: if it rotates in the positive direction, regulate PA44 value toward the higher side; if it rotates in the reverse direction, regulate the PA44 value towards the lower side until the rotation rate reads "R-0";
 - 4) Set PA49 parameter value as 0;
 - 5) Switch display to "DP-POS";
 - 6) Observe current position: if it increases, regulate PA35 value towards the higher side; if it decreases, regulate PA45 value towards the lower side until the position value stands still.
- ⑥ The motor rotation rate can be changed by adjusting external analog voltage and the motor rotation direction can be changed by adjusting direction of the analogy voltage.

Note: Under speed control mode, even when it, as the analog command voltage, gives 0V command, the motor will rotate at a minute speed. Then the zero point of the amplifier shall be adjusted.

Internal Speed Control:

- (1) Connect CN1 and set the input control signals as: servo on (SON), speed choice 1 (SC1) and speed Choice2 (SC2) OFF, CCW drive stopping (FSTP) ON, CW drive stopping (RSTP) ON.

- (2) Switch on control circuit power (temporarily not switching on the main circuit power) and the point on the display of the drive unit will shine. If alarm occurs, examine the wiring.
- (3) Set the control mode (parameter No.4) as speed operation mode (set as 2) and set PA43 parameter as 0. Set parameter No.24~27 according to needs.
- (4) Switch on the main circuit power.
- (5) Render servo on (SON) ON after confirming that there is no alarm or any other abnormal condition, then the motor will be activated and under the operation state of internal speed 1.
- (6) Change the states of input signal SC1 and SC2 to make the motor rotate at the given speed.

7.3 Adjustment



- Wrong parameter setting may cause equipment failure or accidents. Confirm validity of parameter setting before starting the system.
- It is recommended to no-load commissioning should be conducted before commissioning with load.

1) Adjustment in Basic Gains

(1) Speed Control

- ① The value speed proportion gain (parameter No.5) should be set as large as possible under the precondition that no vibration will be caused. Generally, the greater the load inertia is, the larger the value of speed proportion gain shall be set.
- ② The value of speed integral time constant (parameter No.6) shall be set as low as possible according to the given conditions. If the value of speed integral time constant is set too low, the response speed will be improved but it is also easy to cause vibration. So under the precondition that no vibration will be caused, the value shall be set as low as possible. For if the value is too high, the speed will have a great change when the load is changed.

(2) Position Control

- ① Set proper speed proportion gain and speed integral time constant according to the above-motined methods.
- ② Set position feed-forward gain (parameter NO.10) as 0%.
- ③ Within the range of stability, the value of position proportion gain (parameter No.9) shall be set as large as possible. If the value of position proportion gain is set too high, the position command will be easily traced and have small lag error, but it is prone to cause vibration when it stops positioning.
- ④ If an extremely high performance in position tracing is required, the value of position feed-forward gain can be increased. But if the value is set too high, it may cause over-adjustment.

Note: When the value of position proportion gain is relatively low, the system will be stable, but the position tracing performance will be impaired and the lag error increased.

2) Chart for Adjustment in Basic Parameters

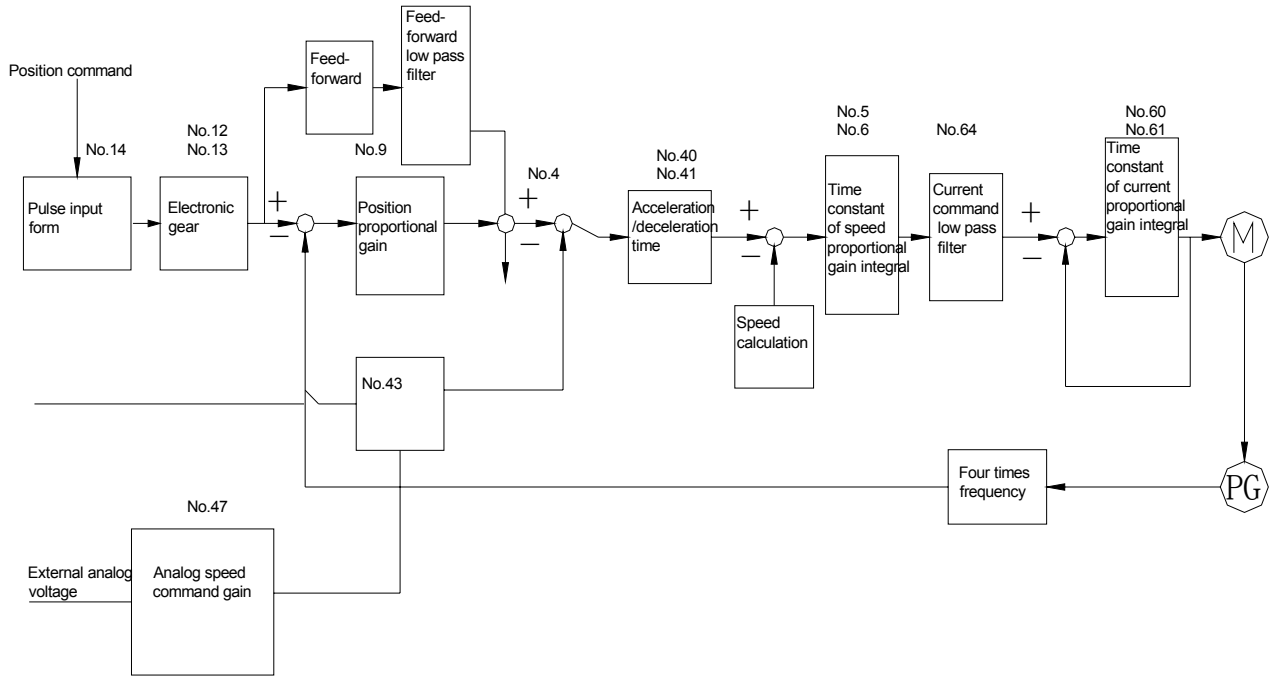


Fig. 7.4 Chart for Adjustment in Basic Parameters

3) Position Resolution and Electronic Gear Position

Position resolution (one pulse itinerary Δl) is determined by itinerary per round of servo motor ΔS and feedback pulse per round of encoder P_t , as expressed in the following calculation formula:

$$\Delta l = \frac{\Delta S}{P_t}$$

In which,

Δl : one pulse itinerary (mm);

ΔS : one pulse itinerary (mm/round);

P_t : feedback pulse per round of encoder (pulses/round).


Since there is a four-time frequency circuit in the system, $P_t = 4 \times C$, in which C is the line number per round of encoder. In this system, $C = 2500$ lines/round, so $P_t = 10000$ pulses/round.

Command pulse can be converted into position control pulse after being multiplied by electronic gear ratio G , so one command pulse itinerary Δl^* is expressed as:

$$\Delta l^* = \frac{\Delta S}{P_t} \times G$$

In which, $G = \frac{\text{Command pulse frequency division numerator}}{\text{Command pulse frequency division denominator}}$

Chapter Eight Product Specifications

 Attention
<ul style="list-style-type: none"> • Servo drive unit must be selected to match the servo motor. This manual describes matched specifications on GKS SJT series and ST series of products. • Servo motor description. The user shall make a clear indication in the order if he or she needs to select servo motor of other manufacturers.

8.1 Driver Specifications

Table 8.1 Servo Driver Specifications

Output Power(kW)	0.4~0.8		1.0~1.5	1.7~2.3
Rated Torque of Motor (Nm)	2~4		4~10	6~15
Input Voltage	Three Phases or Single Phase AC220V -15%~+10% 50 Hz /60Hz		Three-phase AC220V -15%~+10% 50 Hz /60Hz	
Operation Environment	Temperature	Operaton:0℃~55℃ Storage:-20℃~80℃		
	Humidity	Less than 90%(no dew condensation)		
	Vibration	Less than 0.5G(4.9m/S ²),10~60 Hz(non-continuous operation)		
Control Mode	①Position Control ②Speed Control ③Speed Trial Operation ④JOG Operation ⑤Open-loop Operation			
Regenerative Brake	Built in			
Control Features	Speed Frequency Response:200Hz or more			
	Speed Wave Frequency: < ±0.03(load 0~100%): < ±0.02(power supply-15%~+10%)(the value shall correspond to rated velocity)			
	Speed Ratio:1:5000			
	Pulse Frequency:≤500kHz			
Control Input	①Servo on; ②Alarm Clearance ;③CCW Drive Stopping; ④CW Drive Stopping;⑤Error Meter Clearance/Speed Choice1;⑥Command Pulse Inhibiting/Speed Choice2;⑦CCW Torque Limiting;⑧CW Torque Limiting.			
Control Output	①Servo Ready for Output;②Servo Alarm Output;③Positioning Completing Output/Speed Completing Output.④ Hold Output			
Position Control	Input Forms	①Pulse+Symbol;②CCW Pulse/CW Pulse;		
	Electronic Gear Ratio	1~32767/1~32767		
	Feedback Pulse	10000 Pulses/Round		
Speed Control	1) Analog Speed Control Mode: +-10V Voltage; Input Impedance 20K 2) Electronic Gear Ratio: 1-1/255			

	Four Types of Internal Speeds
Acceleration/Deceleration Function	Parameter setting for acceleration/deceleration time 1 ms ~ 10000ms(0r/min←→1000r/min)
Monitoring Function	Rotation rate, current position, command pulse accumulation, position error, motor torque, motor current, linear velocity, absolute position of rotor, command pulse frequency, operation state, input/output terminal signal and etc.
Protection Function	Excessive speed, voltage shortage in main power supply, over-current, overload, abnormal brake, abnormal encoder, abnormal control power, position excess and etc.
Display and Operation	6-phase LED nixie tube, 4 keys
Applicable load inertia	Less than 5 times of motor inertia
Dimension	240 mm×177.5 mm×90mm(see figuration drawing)

8.2 Servo Motor Specifications

1) Product Introduction

GSK SJT series of three-phase AC permanent-magnet synchronous servo motors has the following technical features:

- ◆ Adopt new rare-earth materials, with great output power.
- ◆ Good low-speed performance, with speed ratio>1:10000.
- ◆ High dielectric strength and insulation resistance for safe operation.
- ◆ Powerful overlaod capacity: torque can reach 8 times of rated torque in an instant.

2) Terminal Explanation

(1) SJT Series of Motor Winding

U,V,W,PE terminal.The three winding phases of U, V and W of motor and the rack earth are led out through a 4-core connector. The corresponding relationships are shown in Table 8.2. U, V, W and rack earth are respectively connected with terminal U, V, W and PE of the main return circuit.

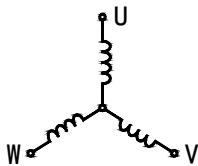


Table 8.2 Motor Wiring

Motor Lead Wire	U	V	W	Rack (Earth)
Socket No.	2	3	4	1

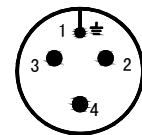


Diagram for Plugs (wire welding area)

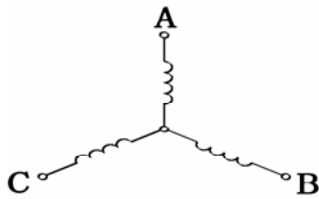
The lead wires of photoelectric encoder are led out through a 15-core connector. The corresponding relationships are shown in Table 8.2. The lead wires shall be connected with plugs of the driver feedback signals CN2 according to driver requirements.

Table 8.3 Encoder Wiring

Lead Wires of Encoder	Rack (Earth)	V _{CC}	GND	A	\bar{A}	B	\bar{B}	Z
Socket No.	1	2	3	4	7	5	8	6
Lead Wires of Encoder	Z	U	\bar{U}	V	\bar{V}	W	\bar{W}	
Plug No.	9	10	13	11	14	12	15	

(2)ST Series of Motor Winding

Schematic diagram for motor winding is shown as follows:



A, B and C are lead-out terminals of winding.

Lead-out way: 4-core socket.

Table 8.4 Motor Wiring

Socket No.	2	3	4
Motor Winding	A	B	C
Remark	One foot has ground contact (rack)		

Lead-out way of photoelectric encoder:15-core socket.

Table 8.5 Encoder Wiring

Marks	2	3	4	7	5	8	6	9	10	13	11	14	12	15
Lead-out foot	V _{CC}	GND	A	\bar{A}	B	\bar{B}	Z	\bar{Z}	U	\bar{U}	V	\bar{V}	W	\bar{W}
Remark	GND is one foot (rack) of the encoder power Vcc that has ground contact													

(3) Specifications

Table 8.8 Specifications on SJT Series of Some Motors

Models	Power(kw)	Paris of Electrodes	Rated Torque(N.m)	Rated Rotation	Rated Current	Rotor Inertia	Acceleration Time	Operating Voltage
110SJT-M020E	0.6	4	2	3000	3.0	3.4×10^{-4}	52	220(300)
110SJT-M040D	1.0	4	4	2500	4.5	6.8×10^{-4}	45	220(300)
110SJT-M060D	1.5	4	6	2500	7.0	9.5×10^{-4}	42	220(300)
130SJT-M040D	1.0	4	4	2500	4.0	1.19×10^{-3}	80	220(300)
130SJT-M050D	1.3	4	5	2500	5.0	1.19×10^{-3}	64	220(300)
130SJT-M060D	1.5	4	6	2500	6.0	1.95×10^{-3}	82	220(300)
130SJT-M075D	1.88	4	7.5	2500	7.5	1.95×10^{-3}	66	220(300)
130SJT-M100B	1.5	4	10	1500	6.0	2.42×10^{-3}	38	220(300)
130SJT-M100D	2.5	4	10	2500	10.0	2.42×10^{-3}	63	220(300)
130SJT-M150B	2.3	4	15	1500	8.5	3.1×10^{-3}	33	220(300)
130SJT-M150D	3.9	4	15	2500	14.5	3.6×10^{-3}	63	220(300)

Note: The user shall make a special indication if he or she wants to order motor with

electricity-losing brake.

Table 8.9 Specifications on ST Series of Some Motors

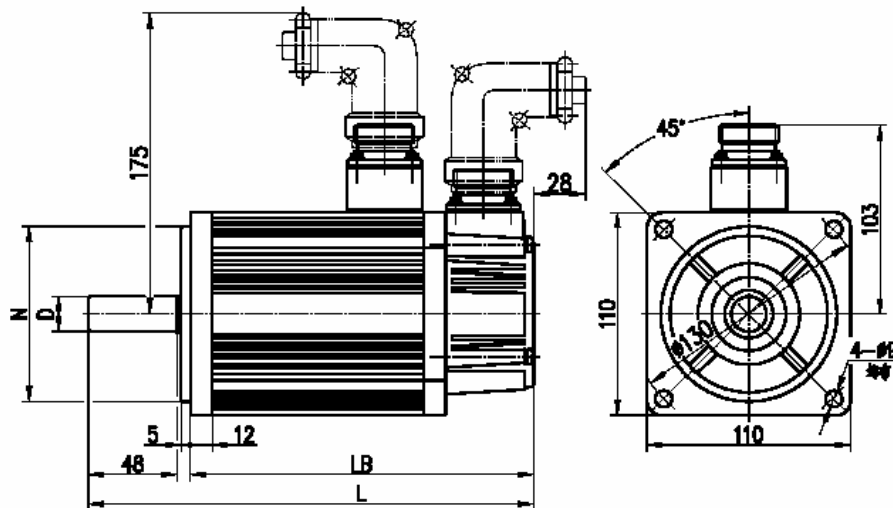
Models	Power (kw)	Zero Speed	Rated Rotation	Rated Current	Rotor Inertia	Machinery Time	Operating Voltage	Weight (kg)
110ST-M02030H	0.6	2	3000	4.0	0.33×10^{-3}	3.64	220(300)	4.2
110ST-M04030H	1.2	4	3000	7.5(5.0)	0.65×10^{-3}	2.32	220(300)	5.2
110ST-M05030H	1.5	5	3000	9.5(6.0)	0.82×10^{-3}	2.03	220(300)	5.8
110ST-M06020H	1.2	6	2000	8.0(6.0)	1.00×10^{-3}	1.82	220(300)	6.4
110ST-M06030H	1.8	6	3000	11.0(8.0)	1.00×10^{-3}	1.82	220(300)	6.4
130ST-M04025H	1.0	4	2500	6.5(4.0)	0.85×10^{-3}	3.75	220(300)	7.4
130ST-M05025H	1.3	5	2500	6.5(5.0)	1.06×10^{-3}	3.07	220(300)	7.9
130ST-M06025H	1.5	6	2500	8.0(6.0)	1.26×10^{-3}	2.83	220(300)	8.6
130ST-M07720H	1.6	7.7	2000	9.0(6.0)	1.58×10^{-3}	2.44	220(300)	9.5
130ST-M10015H	1.5	10	1500	9.0(6.0)	2.14×10^{-3}	2.11	220(300)	11.1
130ST-M10025H	2.6	10	2500	14.5(10.0)	2.14×10^{-3}	2.11	220(300)	11.1
130ST-M15015H	2.3	15	1500	13.5(9.5)	3.24×10^{-3}	1.88	220(300)	14.3

Note 1: The value within the bracket in the column of rated current is the rated current under high voltage

Note 2: The user shall make a special indication if he or she wants to order motor with electricity-losing brake

3) Figuration Dimension

(1) Figuration and installment dimension for SJT series of 110-stand model AC servo motors

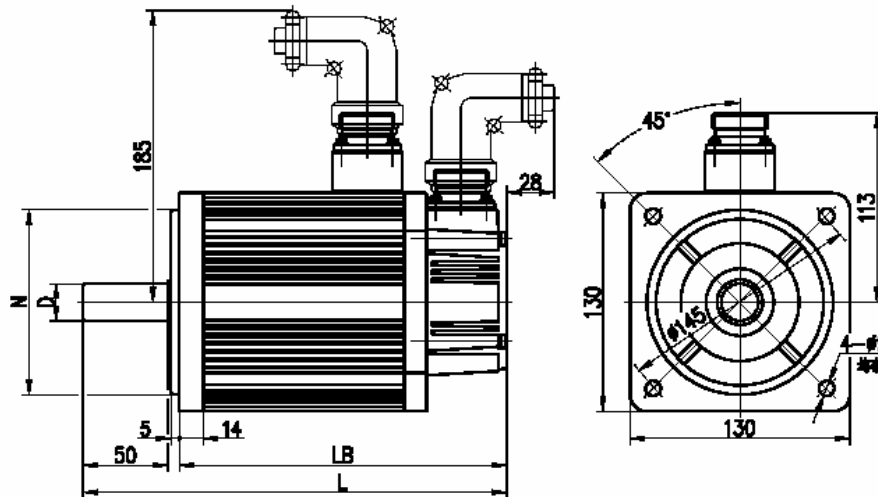


Specifications	D(mm)	N(mm)	LB(mm)	L(mm)
110SJT—M020E	$\phi 19^{0}_{-0.013}$	$\phi 95^{0}_{-0.035}$	156(207)	211(262)

110SJT—M040D	$\phi 19^0_{-0.013}$	$\phi 95^0_{-0.035}$	186(237)	241(292)
110SJT—M060D	$\phi 19^0_{-0.013}$	$\phi 95^0_{-0.035}$	212(263)	267(318)

Note: The LB and L value in the bracket is the length of motor with electricity-losing brake of the corresponding specifications.

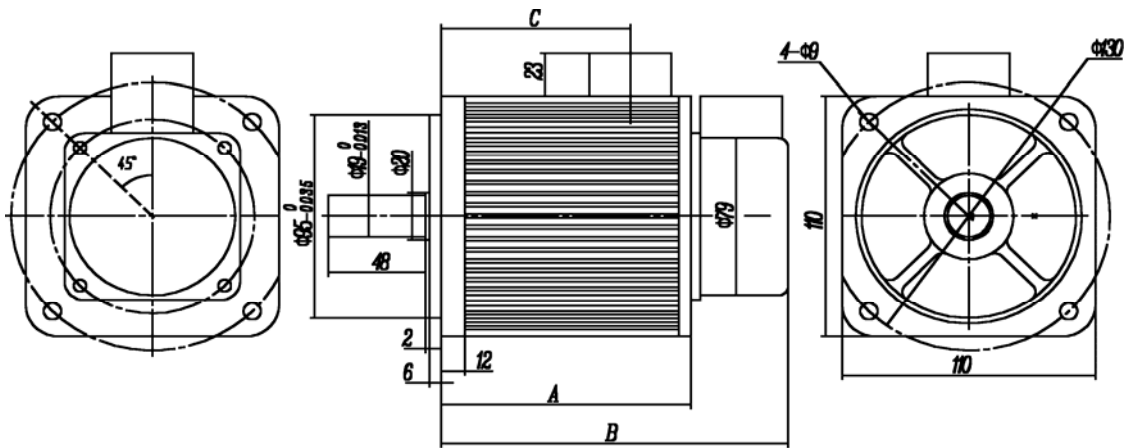
(2) Figuration and installment dimension for SJT series of 130-stand model AC servo motors



Specifications	D(mm)	N(mm)	LB(mm)	L(mm)
130SJT—M040D	$\phi 22^0_{-0.013}$	$\phi 110^0_{-0.035}$	168(227)	225(284)
130SJT—M050D	$\phi 22^0_{-0.013}$	$\phi 110^0_{-0.035}$	168(227)	225(284)
130SJT—M060D	$\phi 22^0_{-0.013}$	$\phi 110^0_{-0.035}$	190(249)	247(306)
130SJT—M075D	$\phi 22^0_{-0.013}$	$\phi 110^0_{-0.035}$	190(249)	247(306)
130SJT—M100B	$\phi 22^0_{-0.013}$	$\phi 110^0_{-0.035}$	208(267)	265(324)
130SJT—M100D	$\phi 22^0_{-0.013}$	$\phi 110^0_{-0.035}$	208(267)	265(324)
130SJT—M150B	$\phi 22^0_{-0.013}$	$\phi 110^0_{-0.035}$	238(297)	295(354)
130SJT—M150D	$\phi 22^0_{-0.013}$	$\phi 110^0_{-0.035}$	248(307)	305(364)

Note: The LB and L value in the bracket is the length of motor with electricity-losing brake of the corresponding specifications.

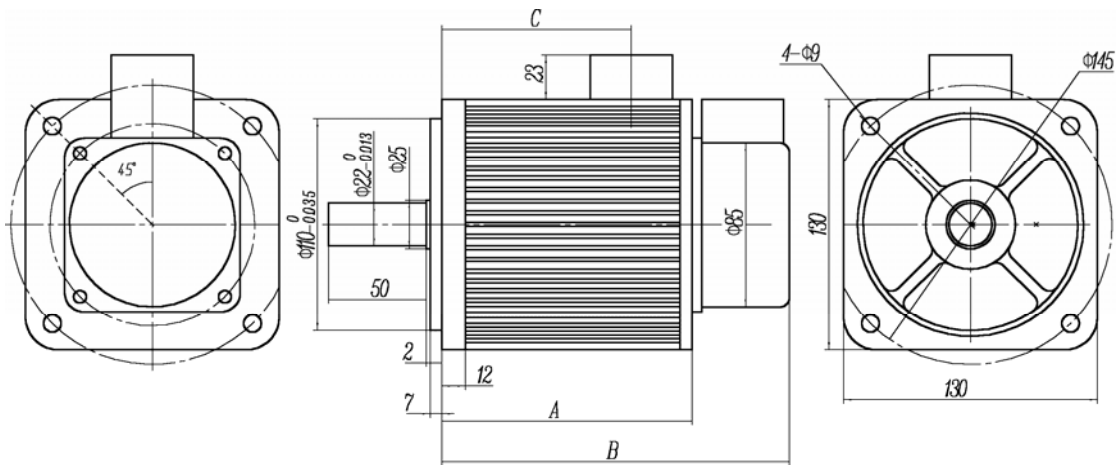
(3) Figuration Drawing for DST series of 110-stand model AC servo motors



Zero-speed Torque (Nm)	2	4	5	6
A(mm)	106	132	148	164
B(mm)	158(205)	184(231)	200(247)	216(263)
C(mm)	76	102	118	134

Note: The B value in the bracket is the length of motor with electricity-losing brake.

(4) Figuration Drawing for DST series of 130-stand model AC servo motors



Zero-speed Torque (Nm)	4	5	6	7.7	10	15
A(mm)	110	119	128	142	166	214
B(mm)	162(209)	171(218)	180(227)	194(241)	218(265)	266(313)
C(mm)	80	89	98	112	136	184

Note: The B value in the bracket is the length of motor with the electricity-losing brake.

8.3 Isolating Transformer

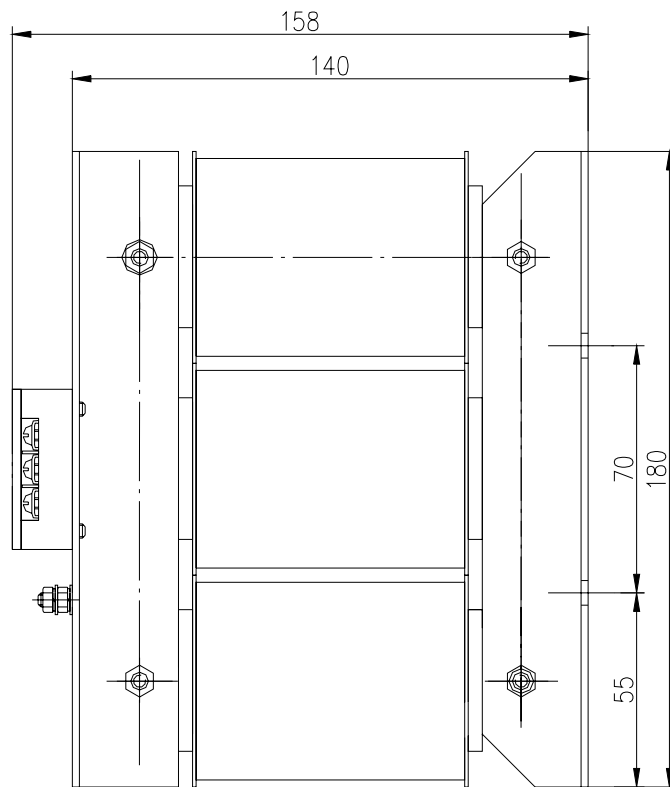
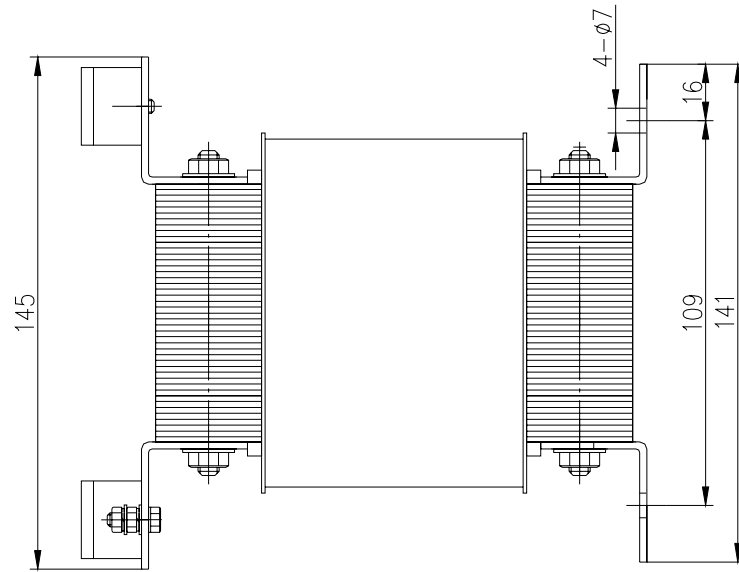
 **Attention**

- It is recommended that the power of drive unit is supplied by isolating transformer for reducing the possibility of electric shock and jamming by power supply and electromagnetic field.
- Drive units of 0.8kW and below can adopt single-phase power supply while drive units of more than 0.8kW can adopt three-phase power supply.

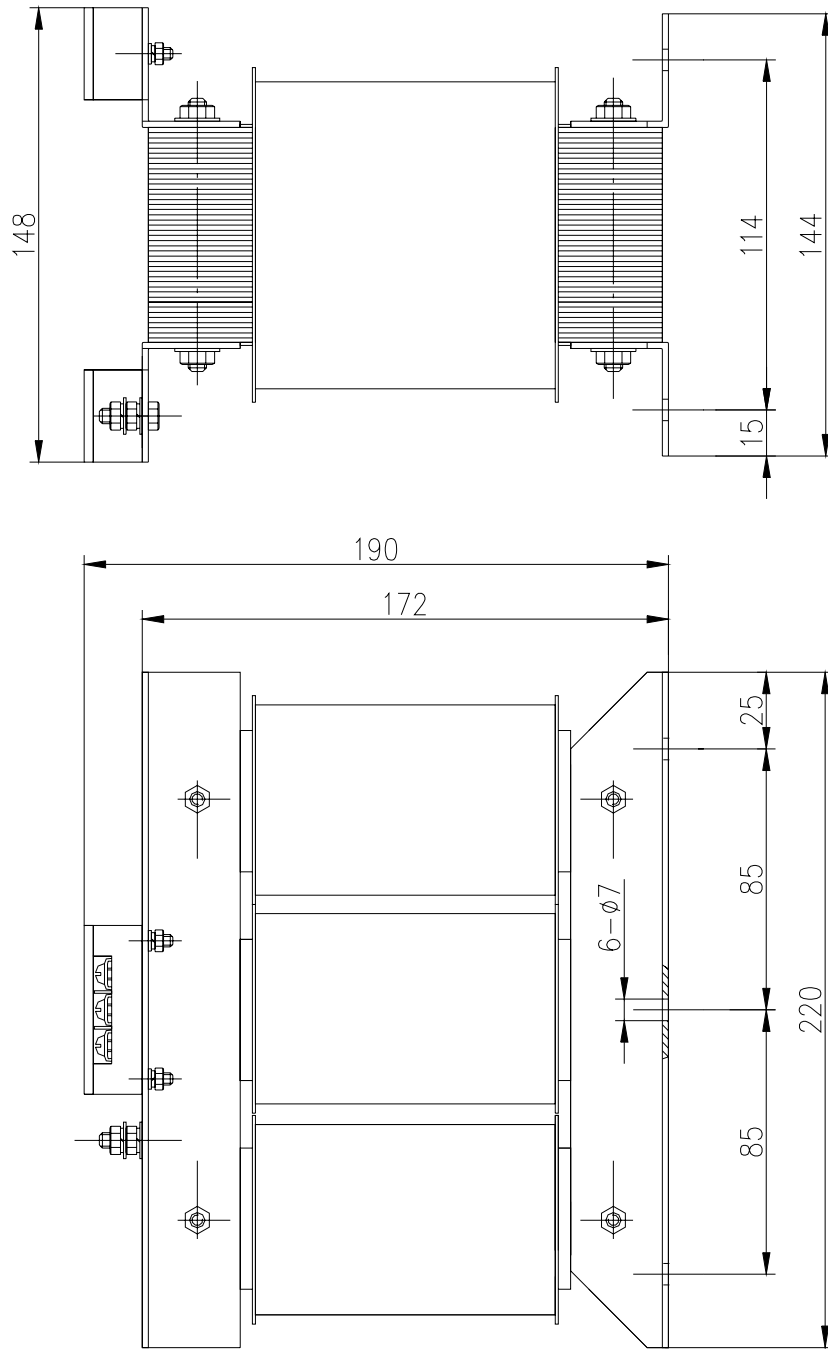
We provide the following several models of transformers for the user to select. The user can make a choice by referring to the power and actual load of servo motor.

Table 8.5 Specifications on Some Isolating Transformers

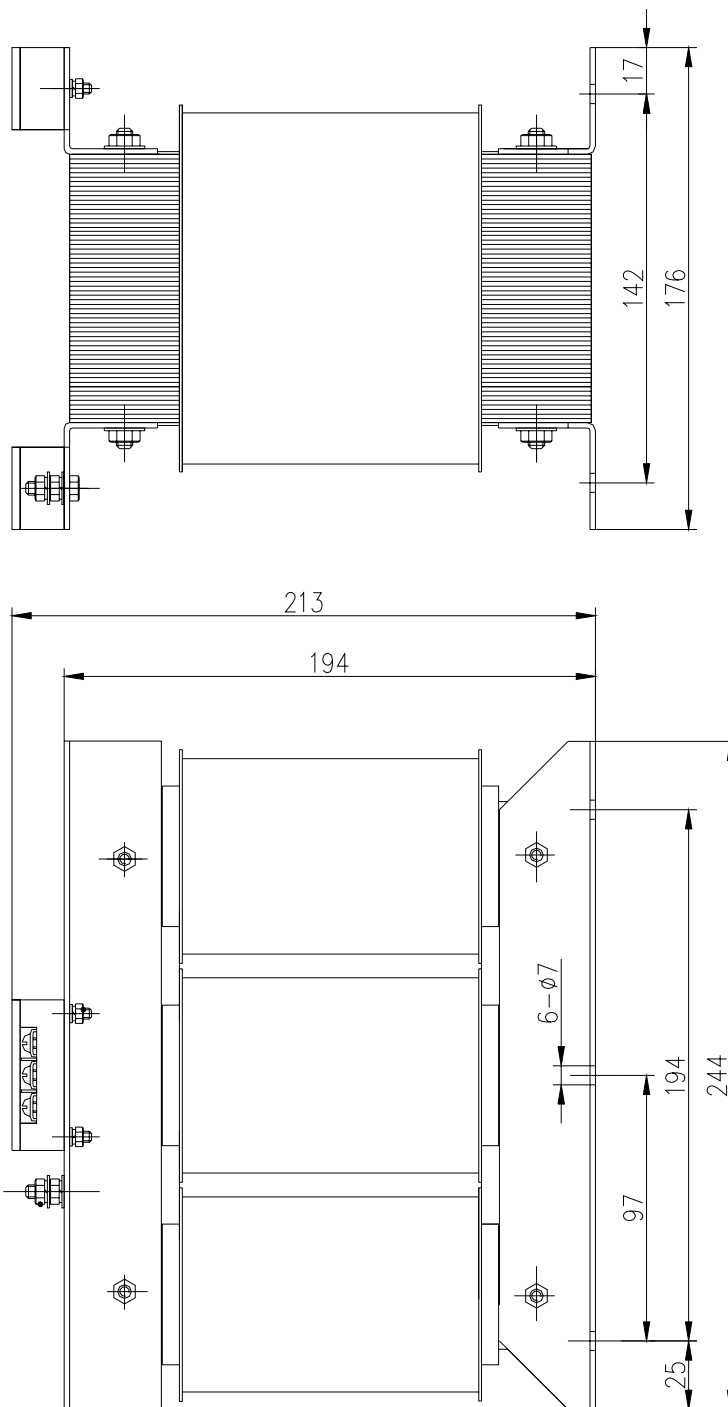
Models	Capacity (kVA)	Phase Number	Input Voltage (V)	Output Voltage (V)
BS—120	1.2	Three	380	220
BS—200	2.0			
BS—300	3.0			
BD—80	0.8	Single		
BD—120	1.2			



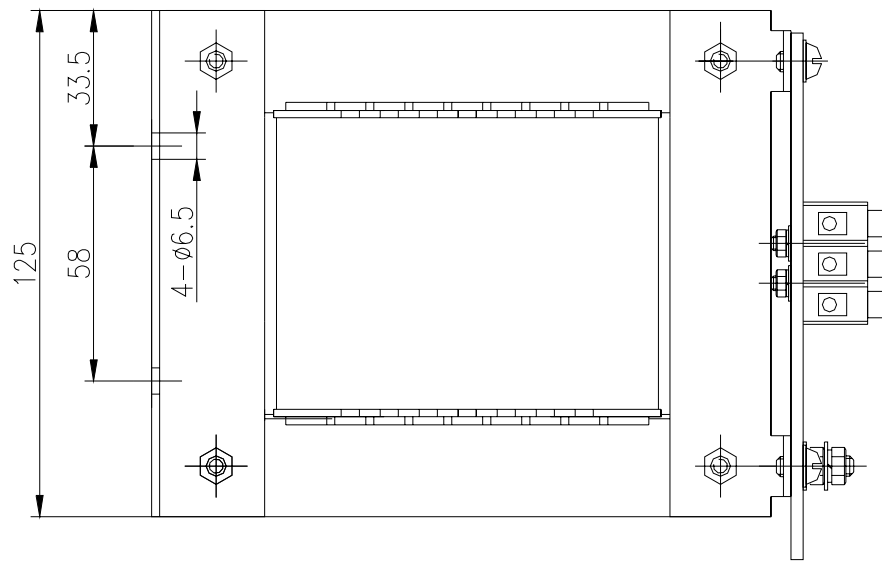
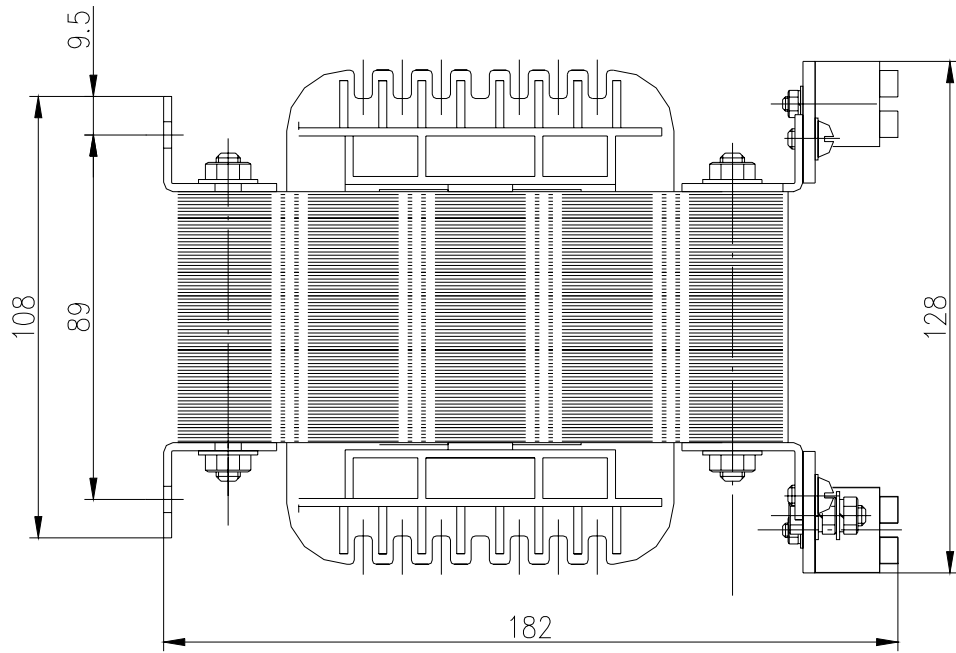
Installation Dimension Drawing for BS—120 Model



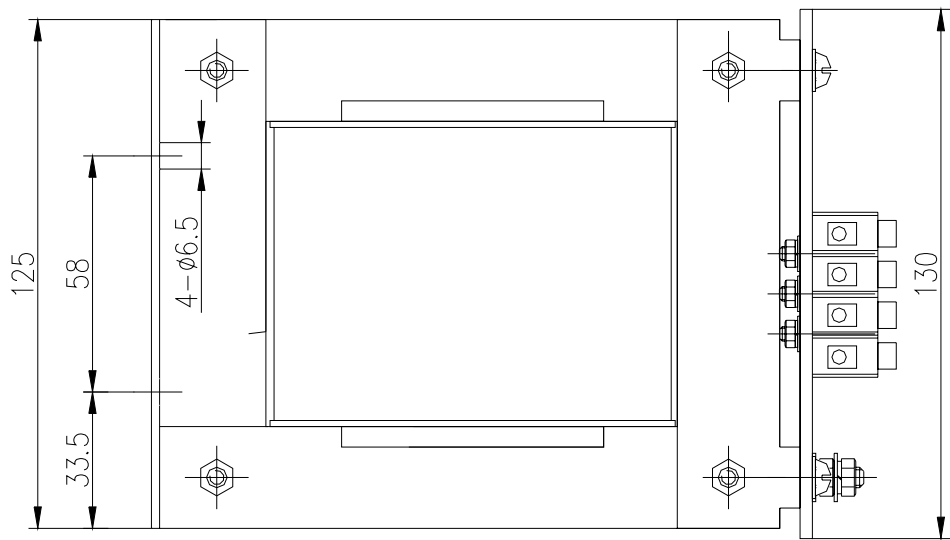
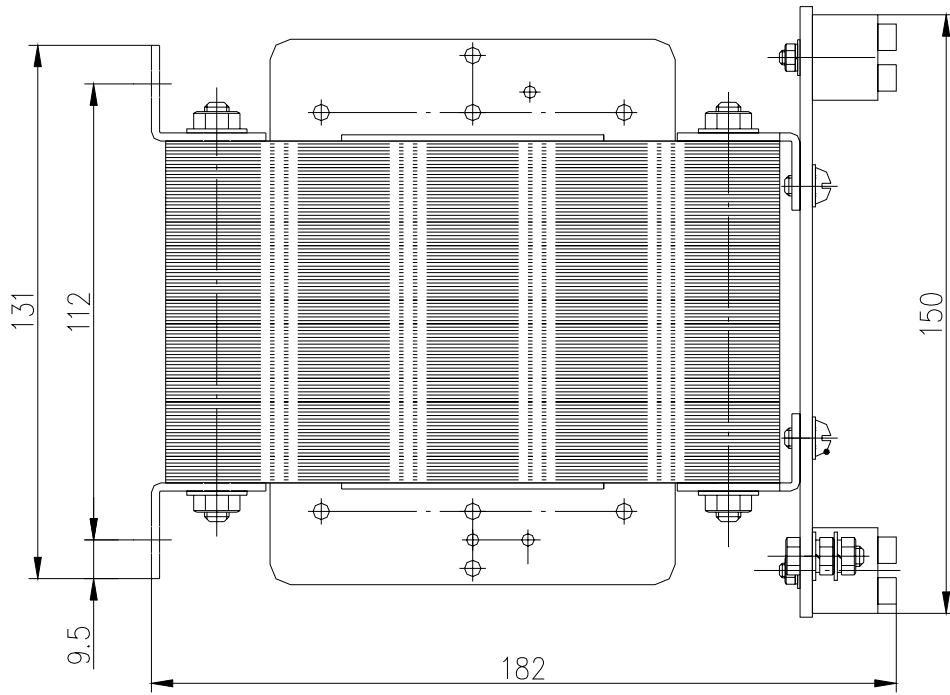
Installment Dimension Drawing for BS—200 Model



Installment Dimension Drawing for BS—300 Model



Installment Dimension Drawing for BD—80 Model



Installment Dimension Drawing for BD—120 Model

Chapter Nine Order Instructions

9.1 Capacity Selecting

The determination of capacity of the servo system must comprehensively consider factors like load inertia, load torque, required positioning precision and maximal speed. The following steps are recommended for the considerations:

1) Calculating Load Inertia and Torque

By referring to related data, make a calculation on load inertia, load torque, acceleration/deceleration torque and effective torque, which will serve as the basis for choice at the next step.

2) Initial Determination of Machinery Gear Ratio

According to the required maximal speed and rotation rate of motor, make a calculation on the maximal machinery deceleration ratio. This ratio and the minimal gyration unit of motor will be used to calculate whether the requirement for minimal position unit is satisfied. If a relatively high position precision is required, increase the machinery deceleration ratio (the actual maximal speed is decreased) or choose motor with higher rotation rate.

3) Calculating Inertia and Torque

The load inertia and torque can be converted to the motor shaft with machinery deceleration ratio. The converted inertial shall be no more than 5 times of the inertia of the motor rotor and the converted load torque and effective torque shall be not higher than the rated torque of motor. If these requirements cannot be satisfied, increase machinery ratio (the actual maximal speed is decreased) or choose motor with greater capacity.

9.2 Electronic Gear Ratio

Refer to Chapter Four (Table 4.2 Functions of Parameters), Chapter Six (Parameter Setting) and Chapter Seven (7.3 Adjustment) for the meaning and adjustment of electronic gear ratio G.

Under position control mode, the actual speed of load is:

$$\text{command pulse speed} \times G \times \text{machinery deceleration ratio.}$$

Under position control model, the actual minimal displacement of load is:

$$\text{minimal command pulse itinerary} \times G \times \text{machinery deceleration ratio.}$$

Note: When the electronic gear ratio G is not 1, the dividing operation of G may have a

remainder, which means that position errors exist. The maximal error is the minimal rotation value (minimal resolution) of the motor.

9.3 Stop Features

Under position control mode, there will be a difference between the command pulse and feedback pulse when using pulse train to control the servo motor. This difference will be accumulated in the position error meter and form the following relationships with the command pulse frequency, electronic gear ratio and position proportion gain:

$$\epsilon = \frac{f^* \times G}{K_p}$$

in which,

- ε: Lag Pulse (Puls);
- f: Command Pulse Frequency (Hz);
- Kp: Position Proportion Gain (1/S);
- G: Electronic Gear Ratio.

Note: the above relationship is reached under the condition that position feed-forward gain is 0%. If the position feed-forward gain is >0%, the lag pulse will be less than that in the above calculation formula.

9.4 Calculation Method for Selecting Models of Servo System and Position Controller

1) Command displacement and actual displacement:

$$S = \frac{I}{\delta} \cdot \frac{CR}{CD} \cdot \frac{DR}{DD} \cdot \frac{1}{ST} \cdot \frac{ZD}{ZM} \cdot L$$

in which,

- | | |
|---|---|
| S: actual displacement mm; | DR: servo frequency multiplication coefficient; |
| I: command displacement mm; | DD: servo frequency division coefficient; |
| δ: minimal unit of CNC mm; | ST: grade division value per round of motor; |
| CR: command frequency multiplication coefficient; | ZD: gear number of side gear of motor; |
| CD: command frequency division coefficient | ZM: gear number of side gear of lead screw; |
| | L: pitch of lead screw mm |

Generally, S=I, which means command value equals actual value.

2) Maximal Command Speed of CNC:

$$\frac{F}{60 \times \delta} \cdot \frac{CR}{CD} \leq f_{\max}$$

In which, F: command speed mm/min;

f_{\max} : maximal output frequency of CNC Hz(GSK980 为 128000).

3) Maximal Speed of Servo System:

$$V_{\max} = n_{\max} \times \frac{DR}{DD} \times L$$

In which, V_{\max} : maximal velocity of work bench permitted by the servo system mm/min;

n_{\max} : maximal rotation rate permitted by the servo motor r/min;

Actual maximal speed of machine tools is restricted by maximal speed of CNC and the servo system.

$$\alpha = INT \left[INT \left(N \cdot \frac{CR}{CD} \right) \cdot \frac{DR}{DD} \right]_{\min} \cdot \frac{1}{ST} \cdot \frac{ZD}{ZM} \cdot \frac{L}{\delta}$$

in which, α : minimal displacement of machine tools mm;

N : natural number;

INT(): integral number;

INT []_{min}: minimal integral num

广州数控设备有限公司
GSK CNC EQUIPMENT CO., LTD.

Add: No.52, 1st . Street, Luochong North Road, Luochongwei, Guangzhou, 510165, China

Website: <http://www.gsk.com.cn>

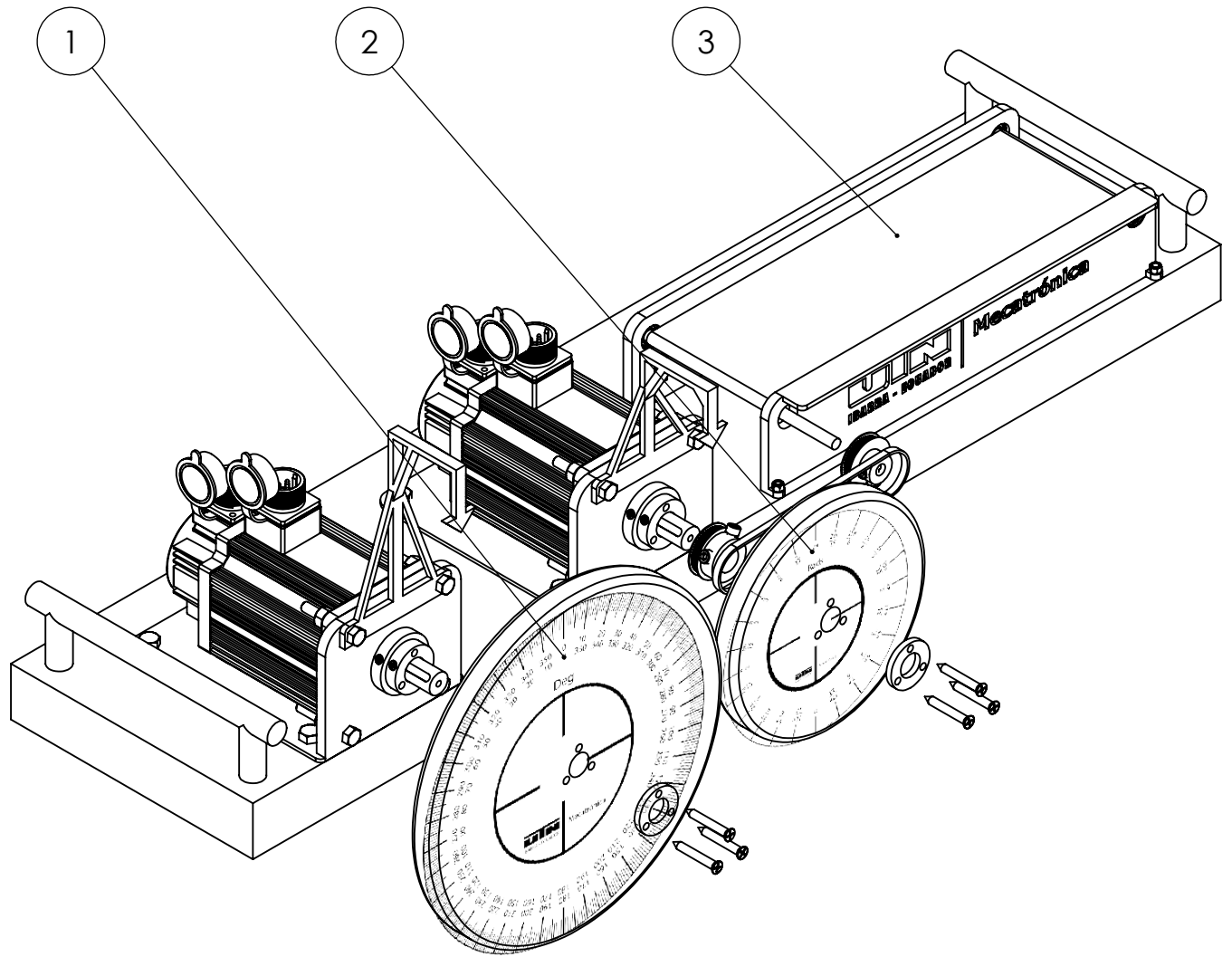
E-mail: gsk@gsk.com.cn

Tel: 86-20-81796410/81797922

Fax: 86-20-81993683

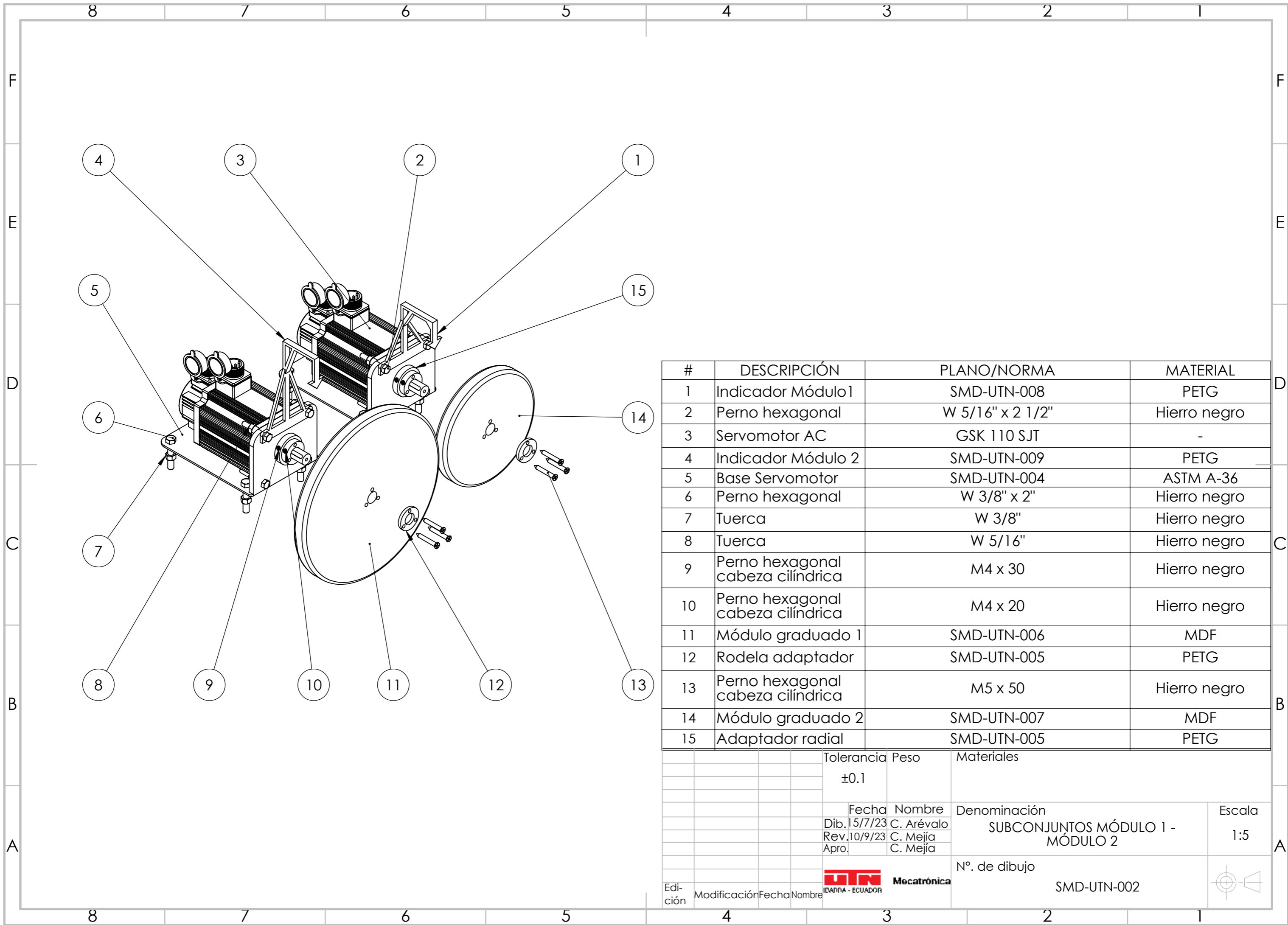
All specification and designs are subject to change without notice. Aug. 2007/Edition 1

Aug. 2007/Printing 1



N.º DE SUBCONJUNTO	N. DE SUBCONJUNTO	PLANO/NORMA	CANTIDAD
1	Módulo 1	SMD-UTN-002	1
2	Módulo 2	SMD-UTN-002	1
3	Módulo 3	SMD-UTN-003	1

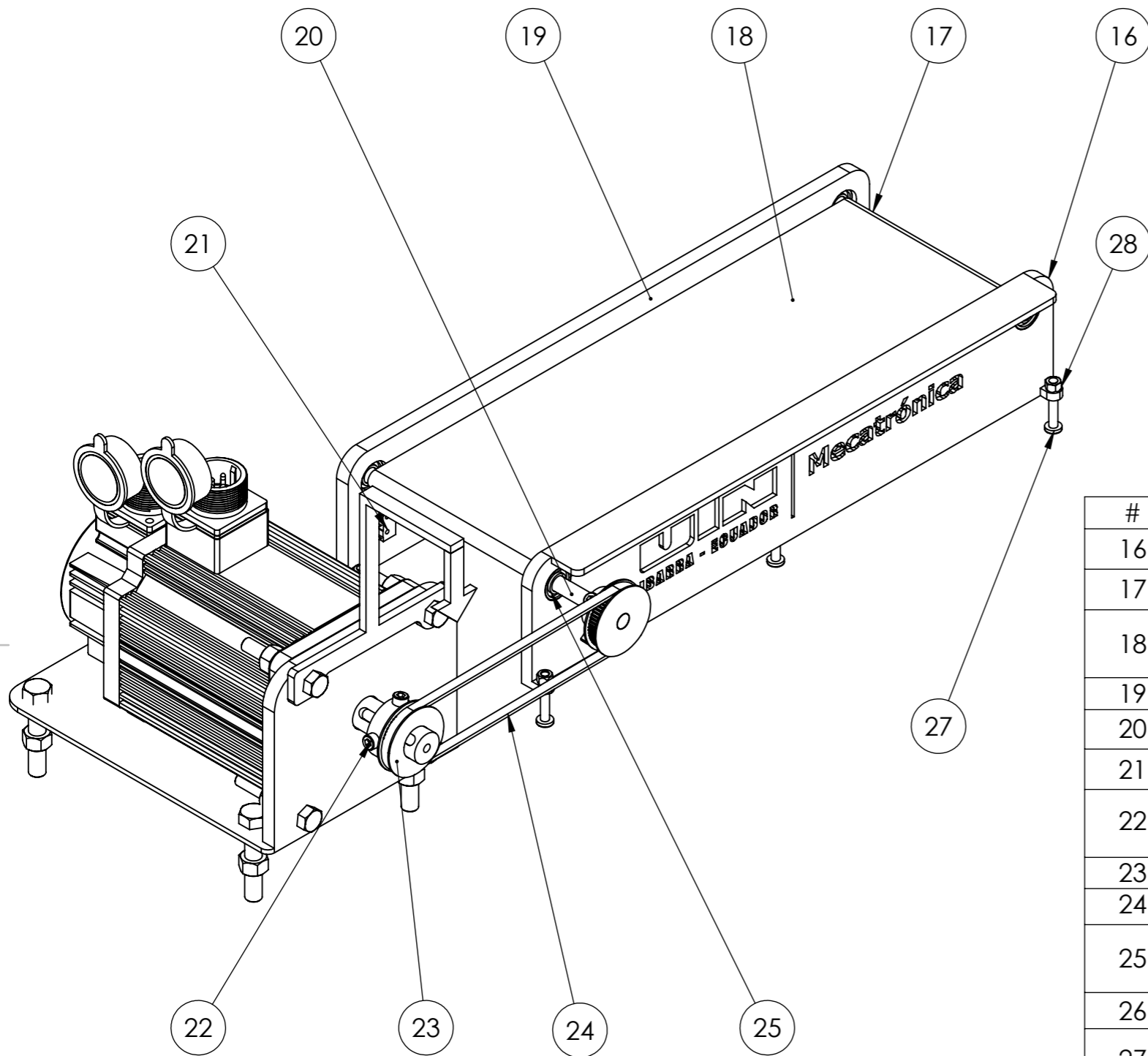
				Tolerancia	Peso	Materiales	
				±0.1			
				Fecha	Nombre	Denominación	Escala
				Div. 15/7/23	C. Arévalo	SISTEMA MODULAR DIDÁCTICO PARA CONTROL DE SERVOMOTORES	1:5
				Rev. 10/9/23	C. Mejía		
				Apro. /9/23	C. Mejía		
				 MecaTrónica GUAYAS - ECUADOR		Nº. de dibujo	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			SMD-UTN-001	



#	DESCRIPCIÓN	PLANO/NORMA	MATERIAL
1	Indicador Módulo1	SMD-UTN-008	PETG
2	Perno hexagonal	W 5/16" x 2 1/2"	Hierro negro
3	Servomotor AC	GSK 110 SJT	-
4	Indicador Módulo 2	SMD-UTN-009	PETG
5	Base Servomotor	SMD-UTN-004	ASTM A-36
6	Perno hexagonal	W 3/8" x 2"	Hierro negro
7	Tuerca	W 3/8"	Hierro negro
8	Tuerca	W 5/16"	Hierro negro
9	Perno hexagonal cabeza cilíndrica	M4 x 30	Hierro negro
10	Perno hexagonal cabeza cilíndrica	M4 x 20	Hierro negro
11	Módulo graduado 1	SMD-UTN-006	MDF
12	Rodela adaptador	SMD-UTN-005	PETG
13	Perno hexagonal cabeza cilíndrica	M5 x 50	Hierro negro
14	Módulo graduado 2	SMD-UTN-007	MDF
15	Adaptador radial	SMD-UTN-005	PETG

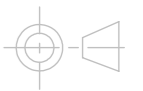
			Tolerancia	Peso	Materiales	
			±0.1			
			Fecha	Nombre	Denominación	Escala
			Dib. 15/7/23	C. Arévalo		
			Rev. 10/9/23	C. Mejía		
			Apro.	C. Mejía	SUBCONJUNTOS MÓDULO 1 - MÓDULO 2	1:5
					Nº. de dibujo	
					SMD-UTN-002	

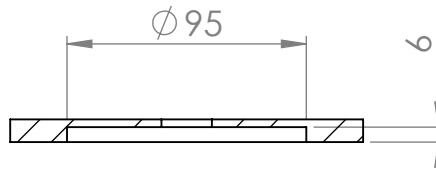
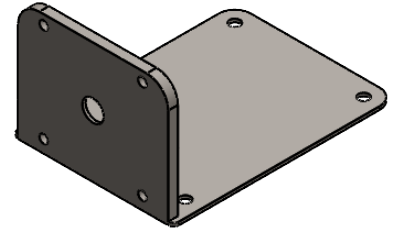
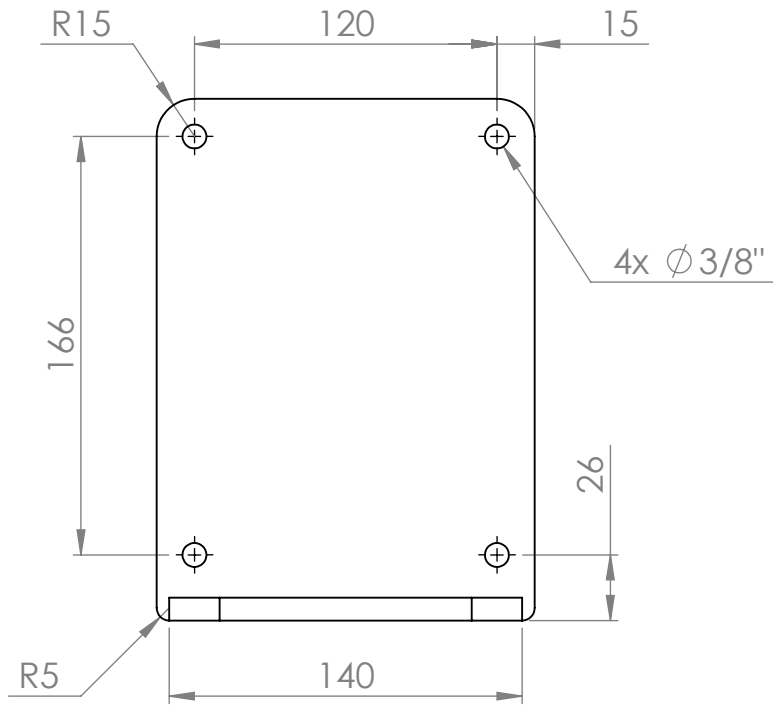




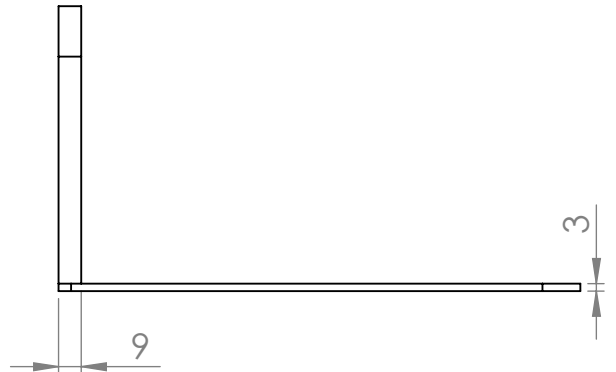
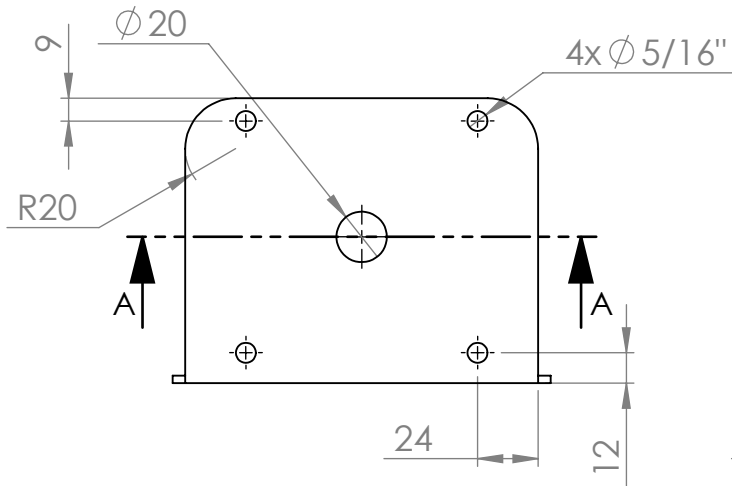
#	DESCRIPCIÓN	PLANO/NORMA	MATERIAL
16	Carcasa frontal	SMD-UTN-010	MDF 9mm
17	Eje 9 mm	9 ϕ x 150 mm	ASTM A-36
18	Banda lisa	68 x 13 mm	Elastano
19	Carcasa trasera	SMD-UTN-010	MDF 9mm
20	Eje 9 mm	9 ϕ x 200 mm	ASTM A-36
21	Final de carrera	-	-
22	Perno hexagonal cabeza cilíndrica	M5 x 10	Hierro negro
23	Polea dentada	SMD-UTN-011	PETG
24	Banda de tiempo	GT2 X 400mm	-
25	Rodamiento	609-ZZ	-
26	Polea dentada	SMD-UTN-012	PETG
27	Perno cabeza plana ranura en cruz	M3 x 35	Hierro negro
28	Tuerca M3	M3	Hierro negro

			Tolerancia	Peso	Materiales	
			± 0.1			
			Fecha	Nombre	Denominación	Escala
			Dib. 15/7/23	C. Arévalo	SUBCONJUNTO MÓDULO 3	1:3
			Rev.	C. Mejía		
			Apro.	C. Mejía		
					Nº. de dibujo	
					SMD-UTN-003	

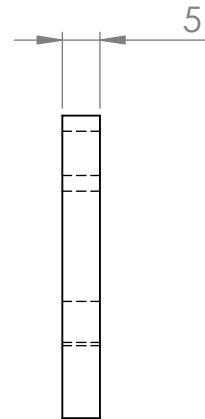
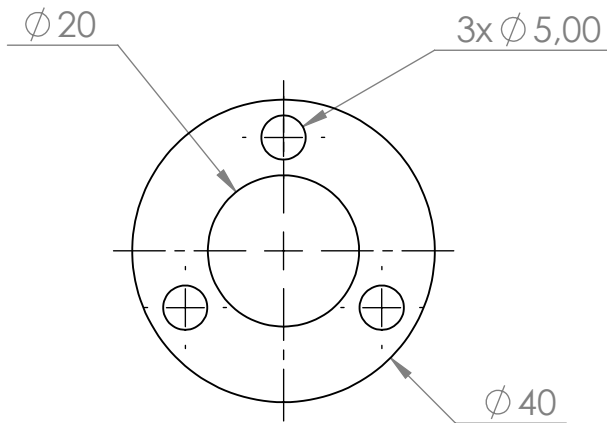
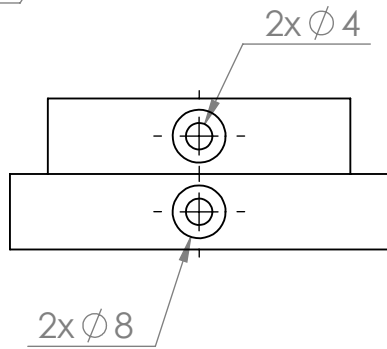
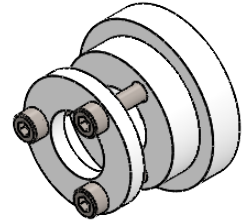
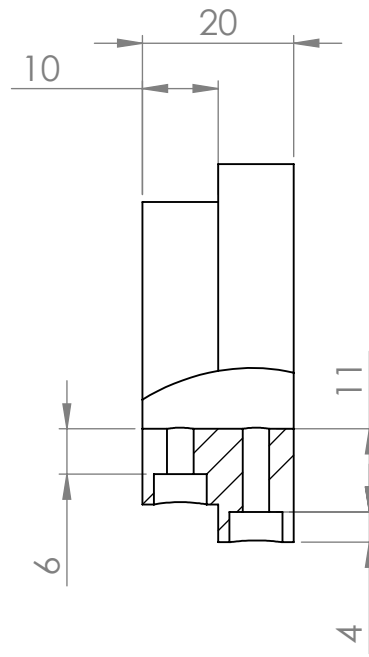
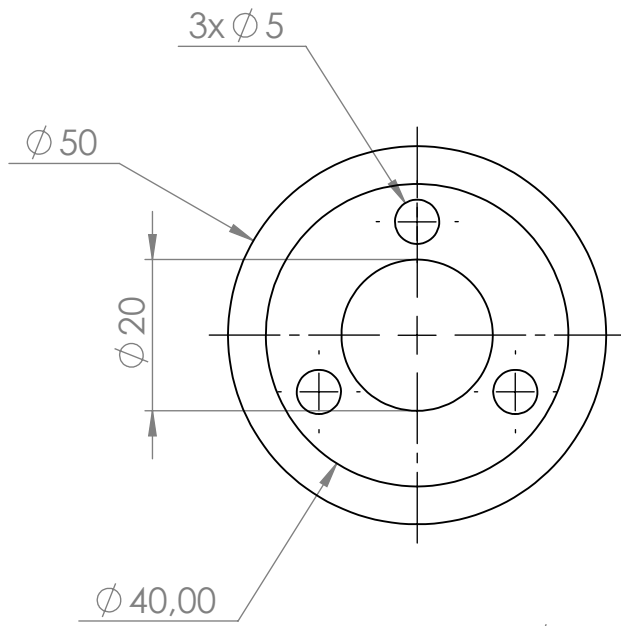




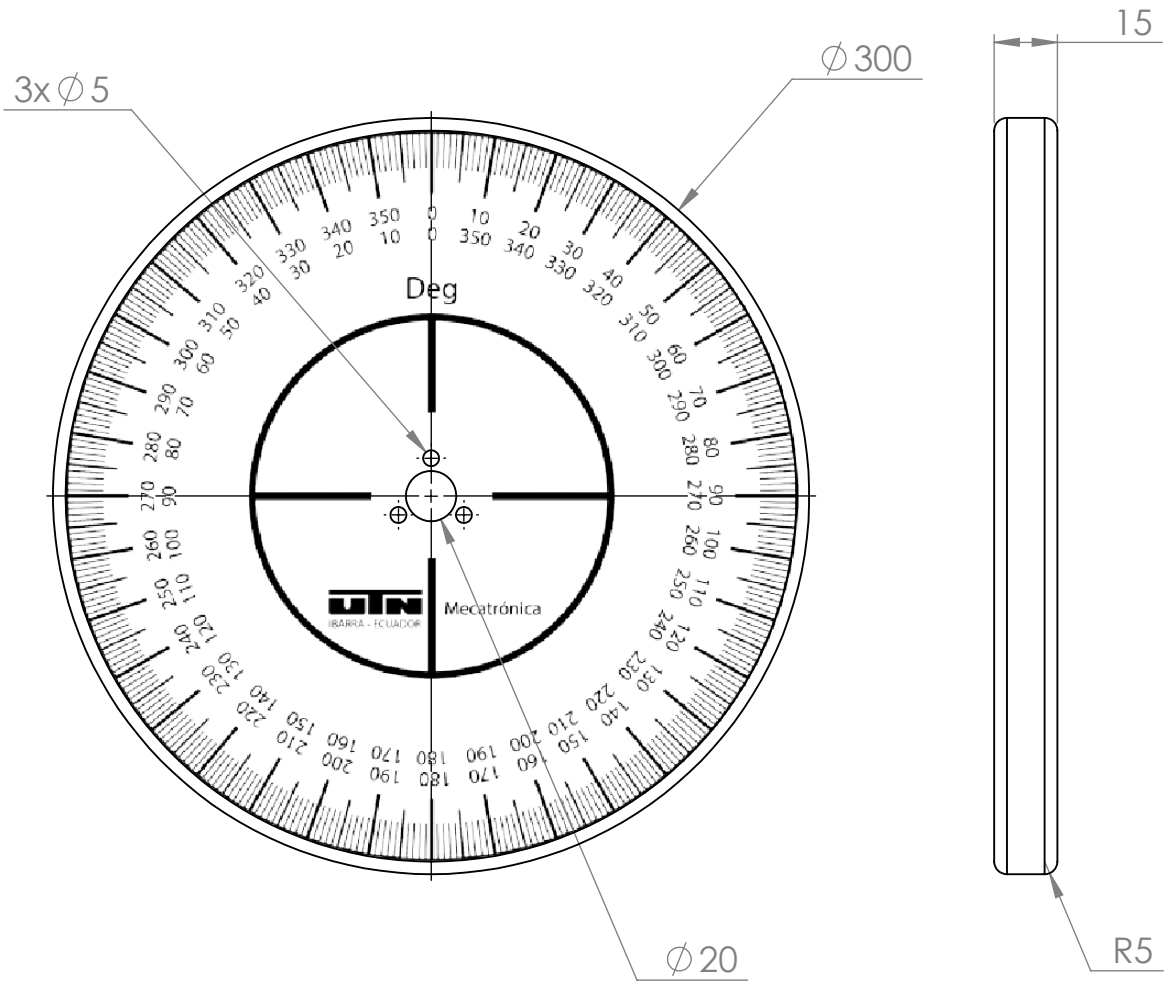
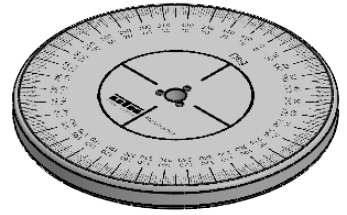
SECCIÓN A-A
ESCALA 1 : 3



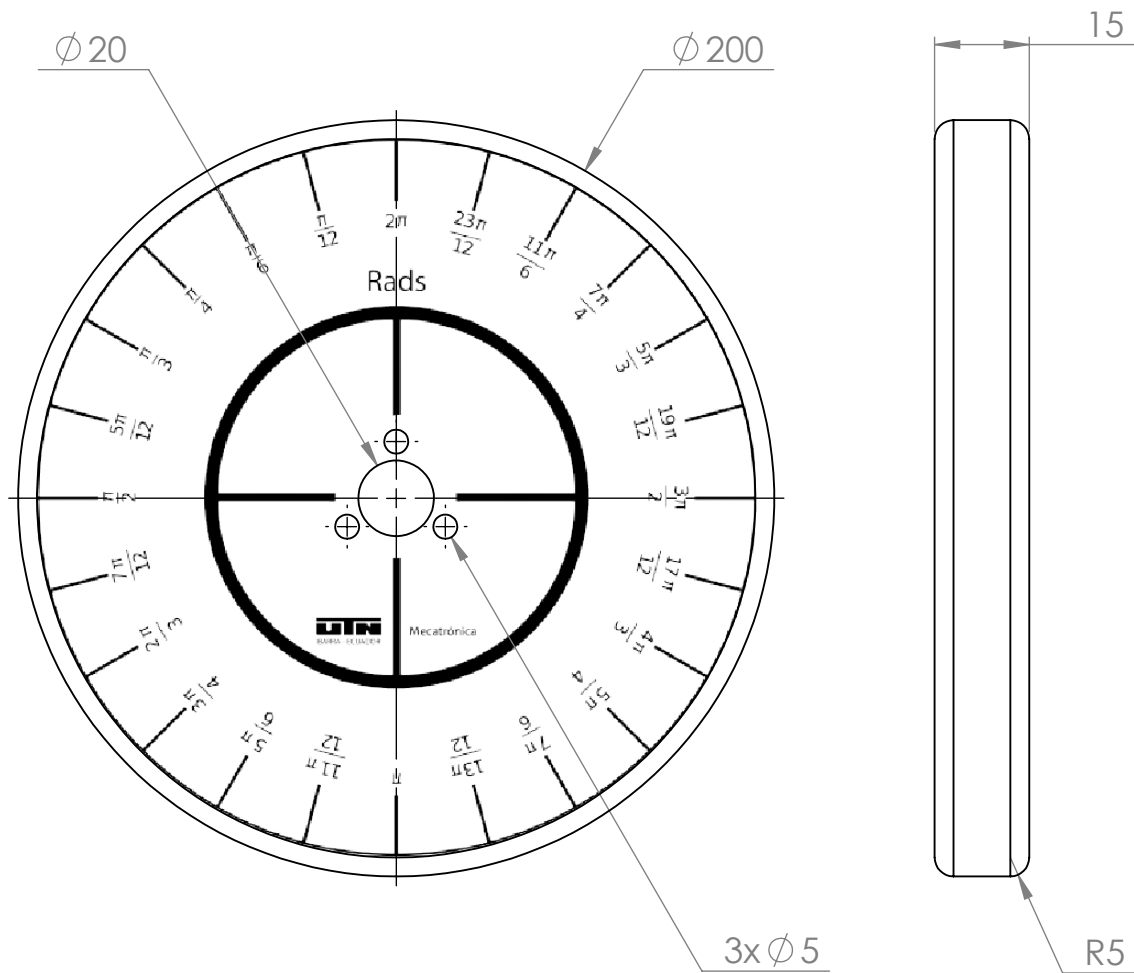
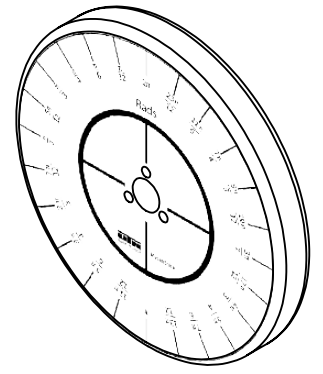
				Tolerancia	Peso	Materiales	
				±0.1		ASTM A-36	
				Fecha	Nombre	Denominación	Escala
				Dib. 15/7/23	C. Arévalo	BASE SERVOMOTOR	1:3
				Rev.	C. Mejía		
				Apro.	C. Mejía		
						Nº. de dibujo	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			SMD-UTN-004	



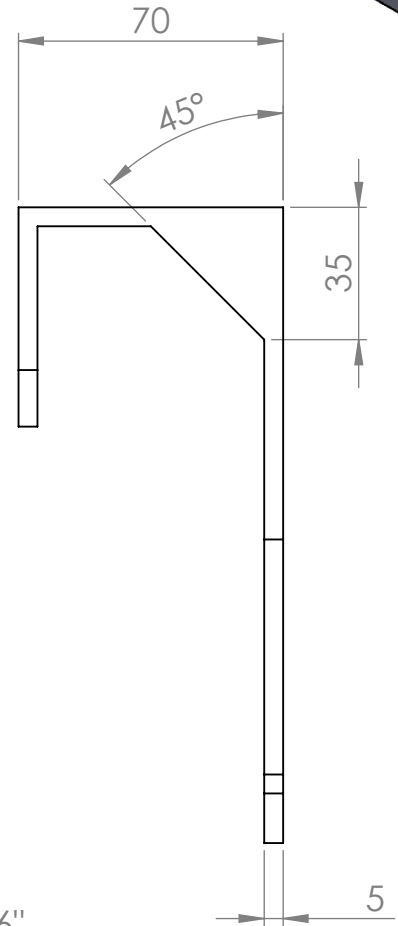
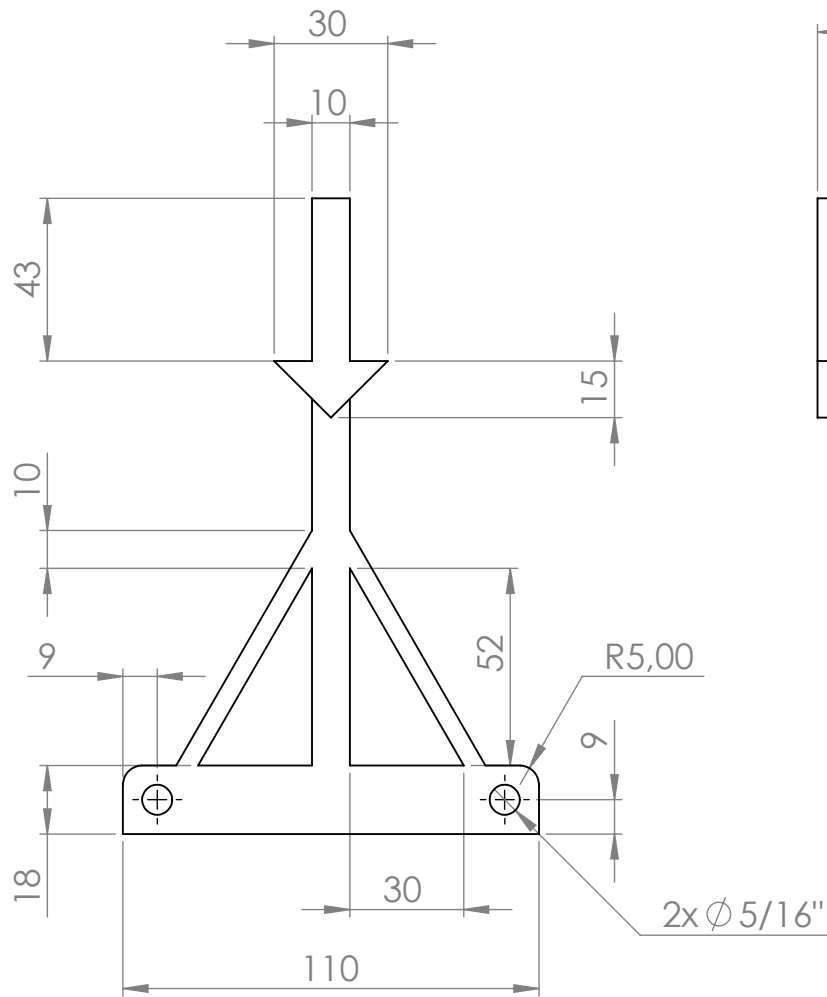
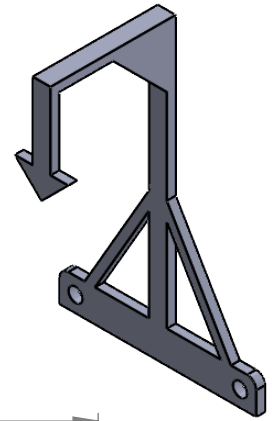
				Tolerancia	Peso	Materiales	
				±0.1		PETG	
				Fecha	Nombre	Denominación	Escala
			Dib.	15/7/23	C. Arévalo		
			Rev.		C. Mejía		
				Apro.	C. Mejía	ADAPTADOR RADIAL 20mm	1:1
				 Mecatrónica <small>MANA - ECUADOR</small>		Nº. de dibujo	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			SMD-UTN-005	



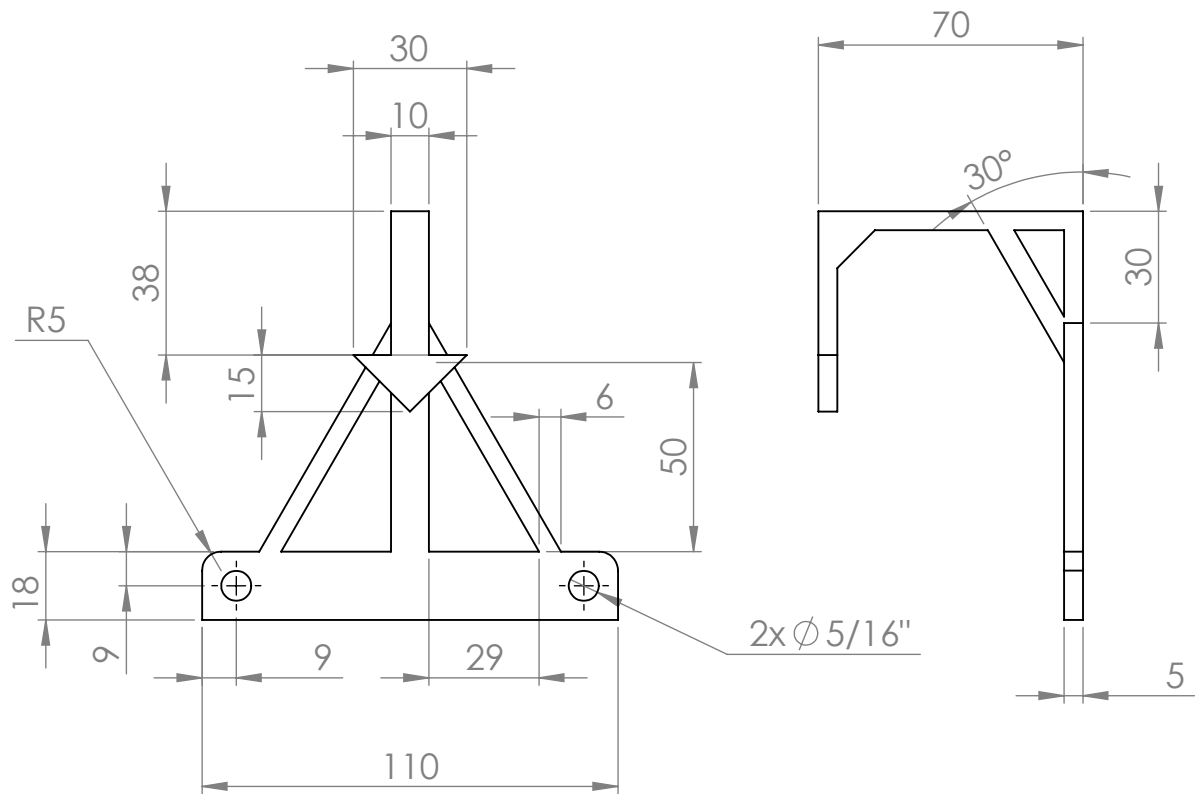
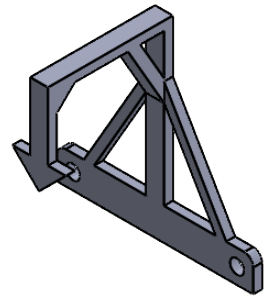
				Tolerancia	Peso	Materiales	
				± 0.1		MDF 15mm	
				Fecha	Nombre	Denominación	Escala
			Dib.	15/7/23	C. Arévalo		
			Rev.		C. Mejía		
				Apro.	C. Mejía		
						Nº. de dibujo	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre	IBARRA - ECUADOR		SMD-UTN-006	



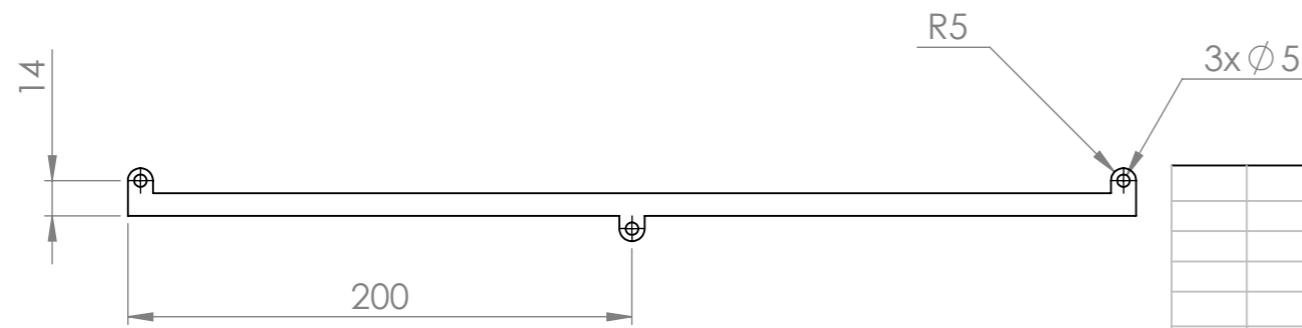
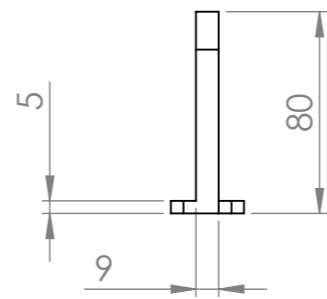
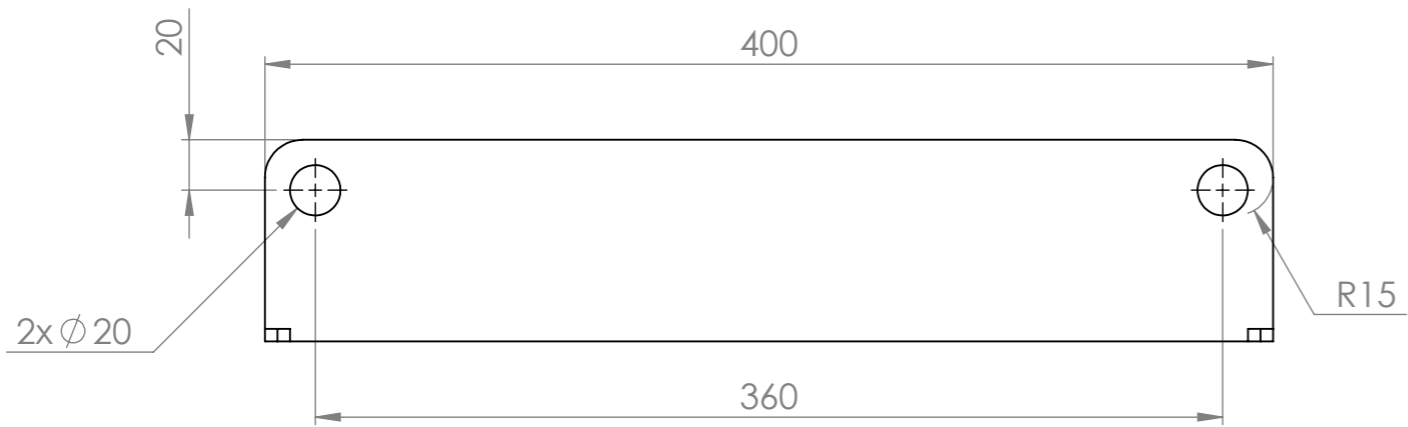
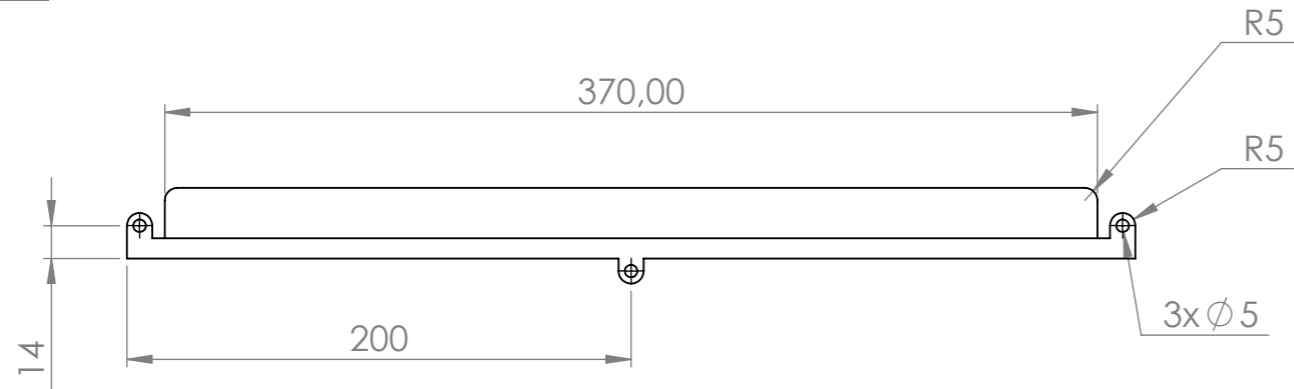
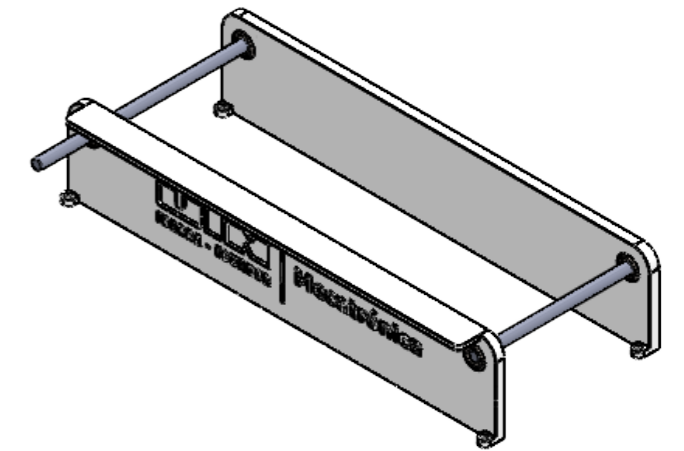
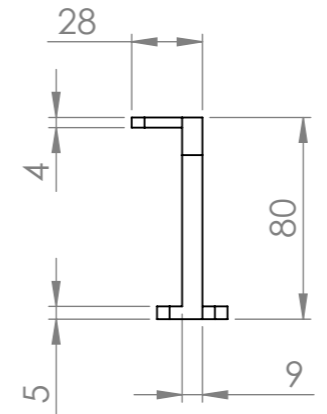
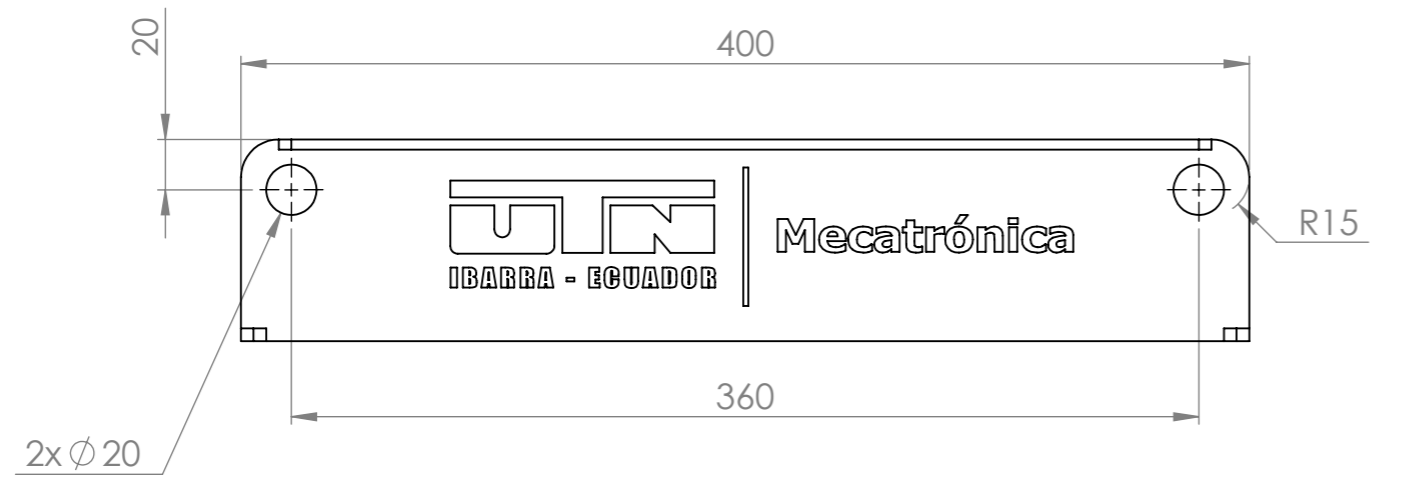
				Tolerancia	Peso	Materiales	
				±0.1		MDF 15mm	
				Fecha	Nombre	Denominación	Escala
			Dib	15/7/23	C. Arévalo		
			Rev.		C. Mejía		
				Apro.	C. Mejía	Nº. de dibujo	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre	Mecatrónica <small>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MANABÍ - ECUADOR</small>			



				Tolerancia	Peso	Materiales	
				±0.1		PETG	
				Fecha	Nombre	Denominación	Escala
			Dib	15/7/23	C. Arévalo		
			Rev.		C. Mejía		
				Apro.	C. Mejía	INDICADOR MÓDULO 1	1:2
				 Mecatrónica <small>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MANABÍ - ECUADOR</small>		Nº. de dibujo	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			SMD-UTN-008	



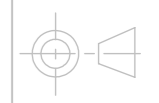
				Tolerancia	Peso	Materiales	
				±0.1		PETG	
				Fecha	Nombre	Denominación	Escala
				Dib. 15/7/23	C. Arévalo	INDICADOR MÓDULO 2	1:2
				Rev.	C. Mejía		
				Apro.	C. Mejía		
				 Mecatrónica <small>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MANABÍ - ECUADOR</small>		Nº. de dibujo	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			SMD-UTN-009	

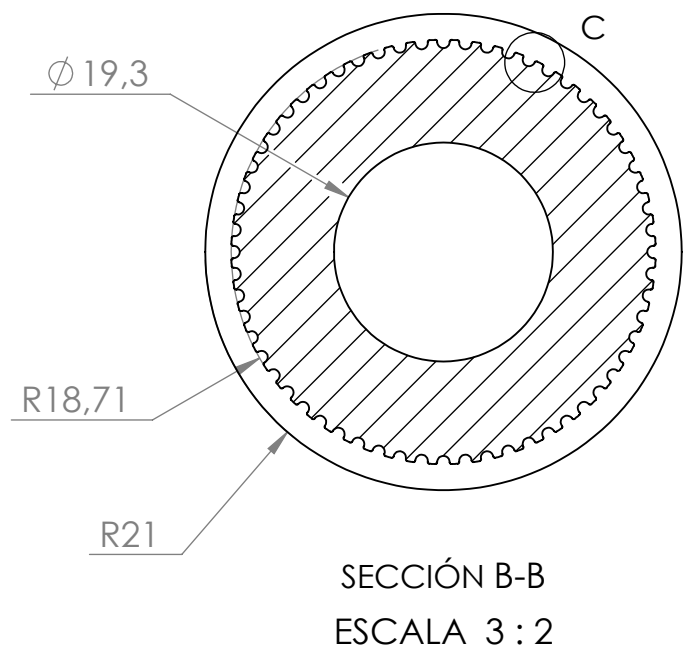
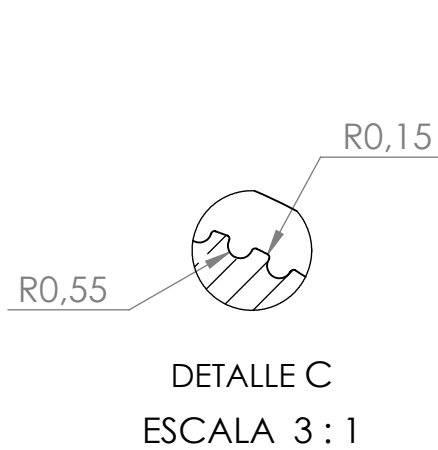
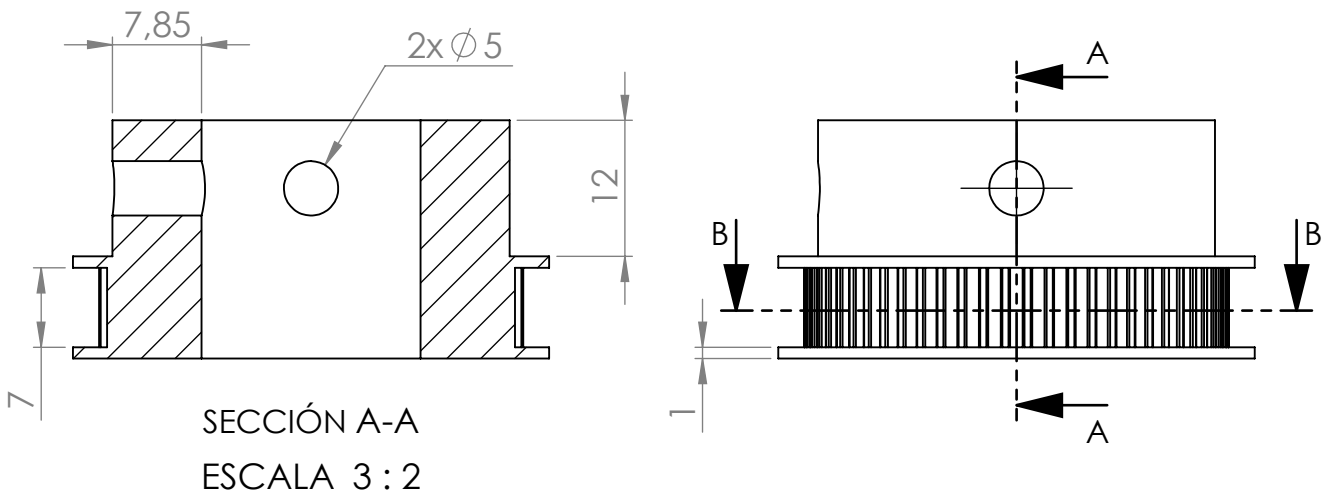
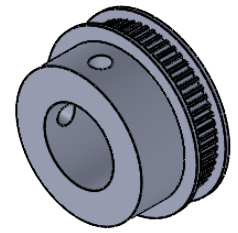


				Tolerancia	Peso	Materiales	
				±0.1		MDF 9 mm	
						Denominación	Escala
						MINI BANDA TRANSPORTADORA	1:3
						Nº. de dibujo	
						SMD-UTN-010	
Edi- ción	Modificación	Fecha	Nombre				

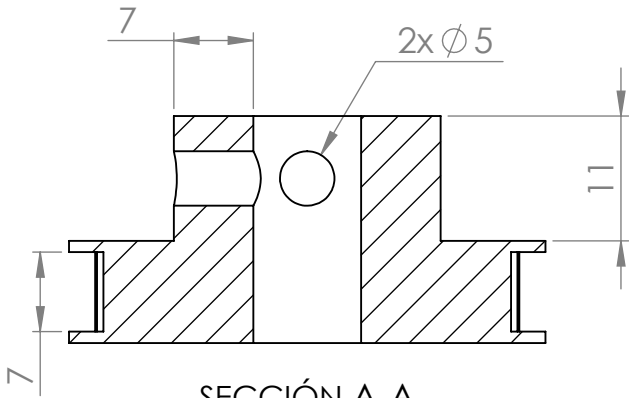
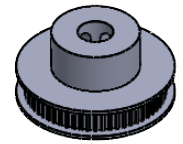
Fecha Dib. 15/7/23
 Nombre C. Arévalo
 Rev. C. Mejía
 Apro. C. Mejía

UTN
 Ibarra - Ecuador
Mecatrónica

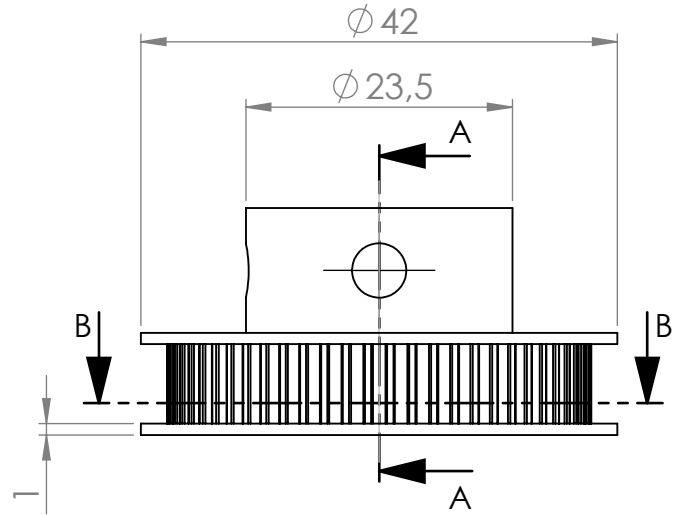




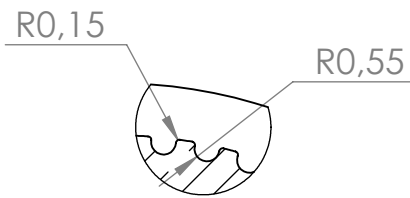
				Tolerancia	Peso	Materiales	
				±0.1		PETG	
				Fecha	Nombre	Denominación	Escala
				Dib. 15/7/23	C. Arévalo	POLEA DENTADA GT2 40 T 20 mm	3:2
				Rev.	C. Mejía		
				Apro.	C. Mejía		
				UTN MANDATA - ECUADOR Mecatrónica		Nº. de dibujo	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			SMD-UTN-011	



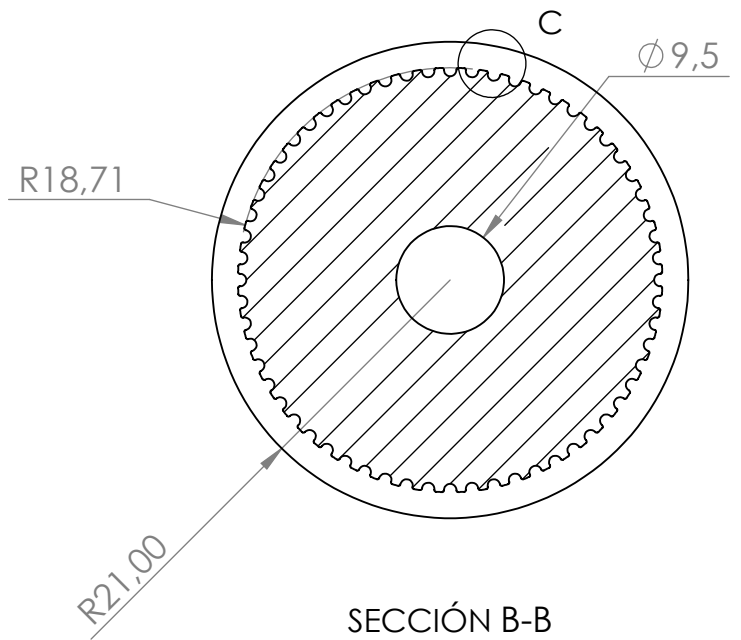
SECCIÓN A-A
ESCALA 3 : 2



SECCIÓN B-B
ESCALA 3 : 2

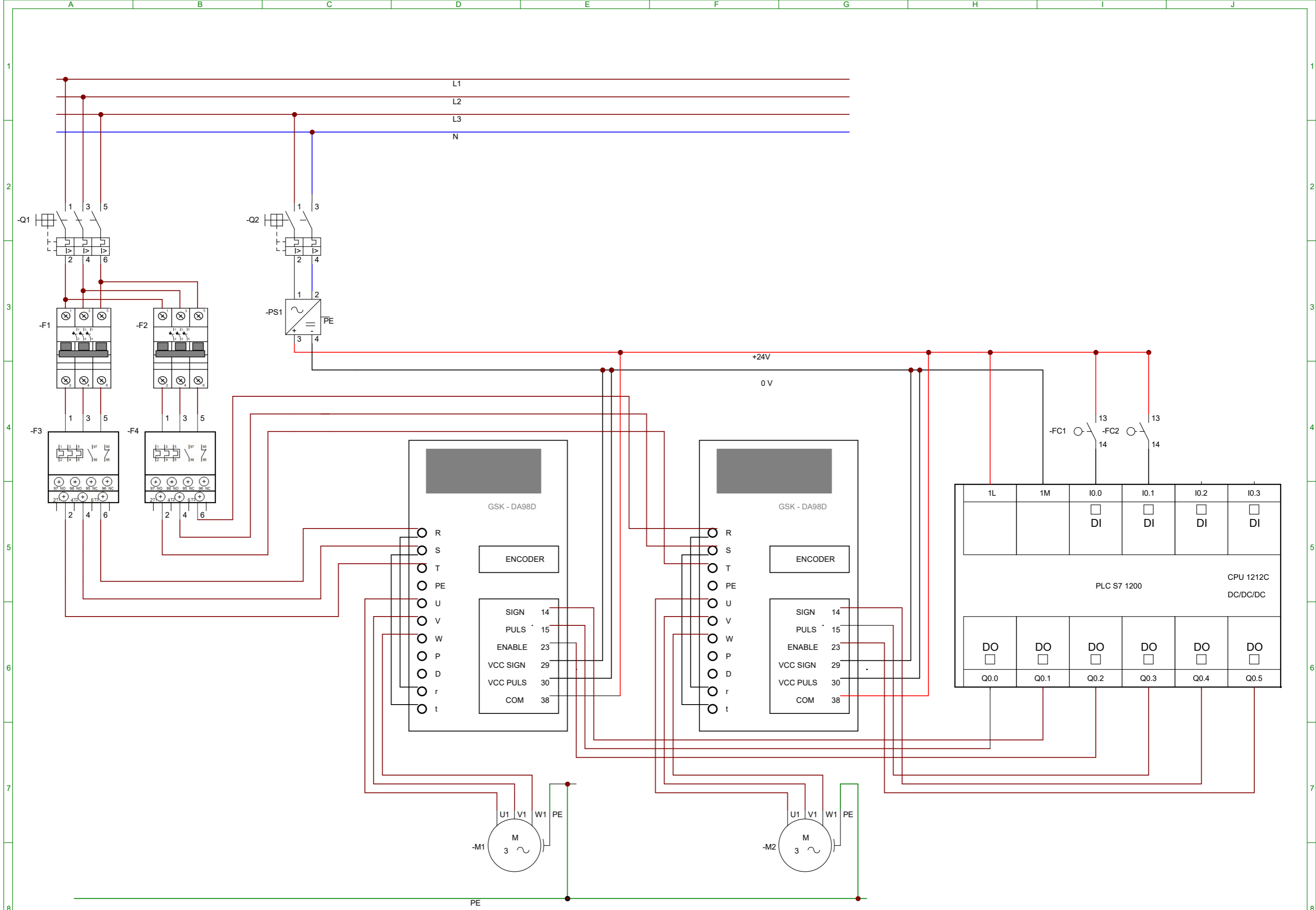


DETALLE C
ESCALA 3 : 1



SECCIÓN B-B
ESCALA 3 : 2

				Tolerancia	Peso	Materiales	
				±0.1		PETG	
				Fecha	Nombre	Denominación	Escala
				Dib. 15/7/23	C. Arévalo	POLEA DENTADA GT2 40 T 9mm	3:2
				Rev.	C. Mejía		
				Apro.	C. Mejía		
				UTN MANDATA - ECUADOR Mecatrónica		Nº. de dibujo	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			SMD-UTN-012	



	Fecha	Nombre	Firmas	Entidad	Título	Fecha	11-Jul-2023	Núm:	1 de 1
Dibujado	11-07-2023	CRISTOPHER ARÉVALO		UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE	CONTROL ELÉCTRICO SISTEMA MODULAR DIDÁCTICO PARA CONTROL DE SERVOMOTORES	Archivo:	SMD-UTN-CCE		
Comprobado	09-09-2023	COSME MEJÍA							



Mecatrónica

*Sistema modular didáctico para prácticas de control de
servomotores AC*

Manual de Usuario

Versión: 0001

Fecha: 01/07/2023



Sistema modular didáctico para prácticas de control de servomotores AC
Manual de Usuario



HOJA DE CONTROL

Organismo	Carrera de Ingeniería en Mecatrónica (CIME)		
Proyecto	Sistema modular didáctico para prácticas de control de servomotores AC		
Entregable	Manual de Usuario		
Autor	Cristopher Arévalo		
Versión/Edición	0001	Fecha Versión	01/07/2023
Aprobado por	Ing. Cosme Mejía MSc.	Fecha Aprobación	10/09/2023
		Nº Total de Páginas	31



ÍNDICE

1 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA	4
1.1 Objetivo	4
1.2 Alcance	4
1.3 Funcionalidad.....	4
2 ARQUITECTURA DEL SISTEMA	5
2.1 Modelo Lógico.....	5
2.2 Configuraciones previas	6
2.2.1 Comunicación PROFINET PC-PLC	6
2.2.2 Configuración transmisión.....	7
3 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA	11
3.1 Subsistema 1	11
3.1.1 Ventana 2	14
3.1.2 Ventana 3	17
3.1.3 Ventana 4	19
3.1.4 Mensajes de error	20
3.2 Subsistema 2	20
3.3 Subsistema 3	22
3.3.1 Módulo 1	23
3.3.2 Módulo 2	24
3.3.3 Módulo 3	24
4 FAQ	28
5 GLOSARIO	29
6 BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS	30



1 Descripción del Sistema

1.1 Objetivo

Instruir al usuario para el correcto uso del sistema modular, así como sus múltiples funcionalidades y limitaciones.

1.2 Alcance

En el presente documento se describirán a detalle los diferentes subsistemas (mecánico, software y eléctrico) que posee el sistema modular. Se especificará la configuración de cada uno y su calibración, información necesaria para la puesta en marcha de prácticas de laboratorio. Al tratarse de un instrumento didáctico, también se establecerán normas de seguridad, precauciones y detalles a tomar en cuenta antes de la experimentación con el dispositivo.

1.3 Funcionalidad

El sistema modular es un instrumento didáctico que ofrece la posibilidad de introducir a estudiantes o reforzar conocimientos en áreas de la Ingeniería tales como “Servomecanismos” o “Automatización industrial y control”. El usuario será capaz de controlar la posición y velocidad de dos servomotores en simultáneo a través de una interfaz gráfica humano-máquina (HMI) virtual. El sistema consta de tres módulos los cuales se dividen en dos grupos, el primero para controlar los servomotores de manera angular (grados y radianes) y el segundo de manera lineal (mm).

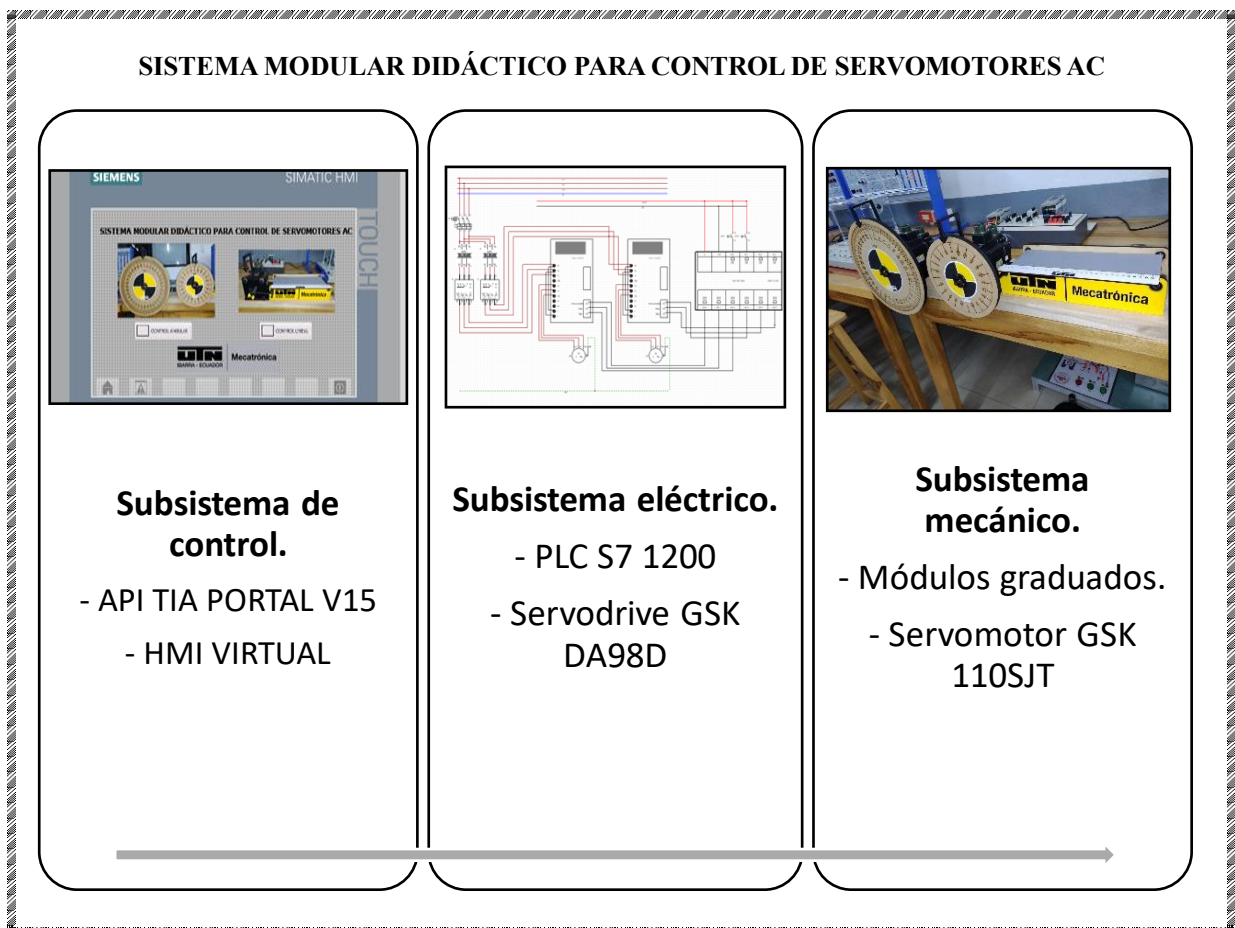
2 ARQUITECTURA DEL SISTEMA

2.1 Modelo Lógico

La arquitectura del sistema presenta tres subsistemas operativos indicados en la Figura 1.

Figura 1

Arquitectura del Sistema Modular.





2.2 Configuraciones previas.

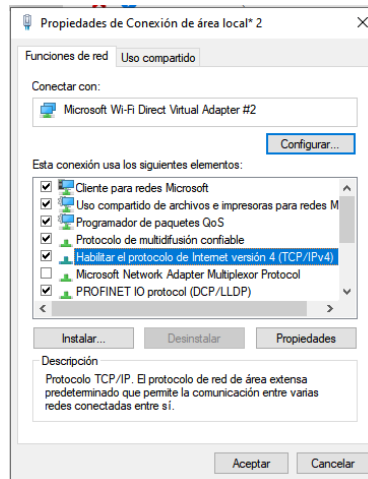
El presente manual está destinado al Docente Técnico o responsable de ejecutar las prácticas de laboratorio. Los perfiles y archivos necesarios para el desarrollo y transmisión web se descargarán de los siguientes enlaces y se ejecutarán en el software indicado:

- ✓ El proyecto que contiene las configuraciones de los ejes y del HMI virtual es desarrollado en TIA PORTAL V15 y está disponible en el siguiente enlace:
https://utneduec-my.sharepoint.com/:f:/g/personal/csarevaloc1_utn_edu_ec/EvLI7U-AxHBPqxvYmBFkXMABHmTcr3CKIDKwiMx6ah3zoA?e=PYDc1U
- ✓ El perfil necesario para la configuración y casteo en vivo de las prácticas de laboratorio fue creado en el Software de Radio-emisor Abierto (OBS) y se descarga en el siguiente enlace:
https://utneduec-my.sharepoint.com/:u:/g/personal/csarevaloc1_utn_edu_ec/EY9IcpR6qxNLni6SLI-0qkQBrGVLnmRmlP_zI1OXyCFPHg?e=KLP5k5

2.2.1 Comunicación PROFINET PC-PLC.

El Siemens S7-1200 es un PLC ubicado en la “Bancada de pruebas de servomotores AC” y su comunicación es posible gracias al protocolo PROFINET basado en estándares abiertos TCP/IP a través de un cable de red. Al tratarse de un HMI virtual, es primordial la conexión permanente del PC del administrador al PLC. A continuación, se procede a verificar si está activo el protocolo de comunicación versión 4 (TCP/IP) en la conexión de red del PLC como se indica en la Figura 2.

Figura 2
Habilitar protocolo de Internet versión 4.



Como siguiente se debe asignar una dirección IP a dicha conexión, para ello se abre la ventana de propiedades, en “General” y se selecciona la opción que habilita la configuración de la dirección IP tal y como se muestra en la Figura 3. La dirección y la máscara subred también debe ser configurada en “Configuración de dispositivo” en el software TIA PORTAL (ver Figura 4).

Figura 3
Asignación de dirección IP.

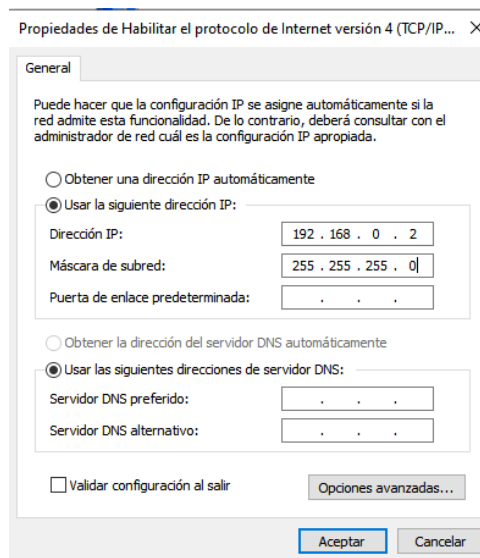
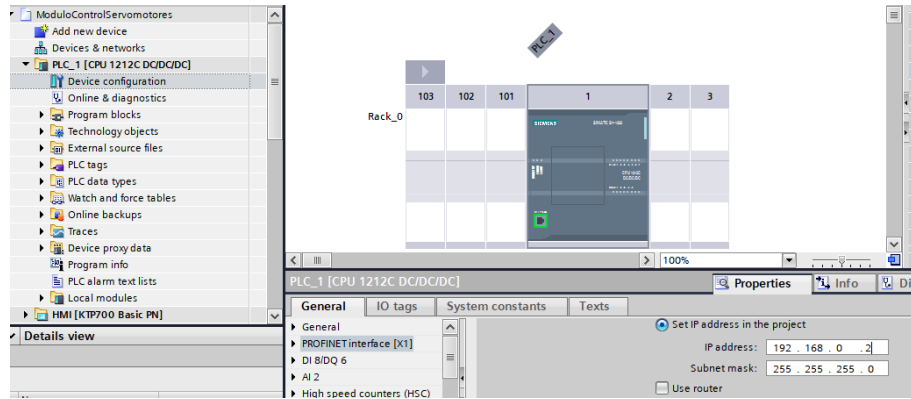


Figura 4.

Configuración de IP del PLC.



2.2.2 Configuración transmisión.

El Software de Radio-emisor Abierto (OBS) es la herramienta empleada para la transmisión en vivo de prácticas de laboratorio. Para ello se ha generado una pantalla que integra la vista de la cámara y de la pantalla HMI como se evidencia en la Figura 5.

Figura 5

Pantalla de visualización del laboratorio híbrido.

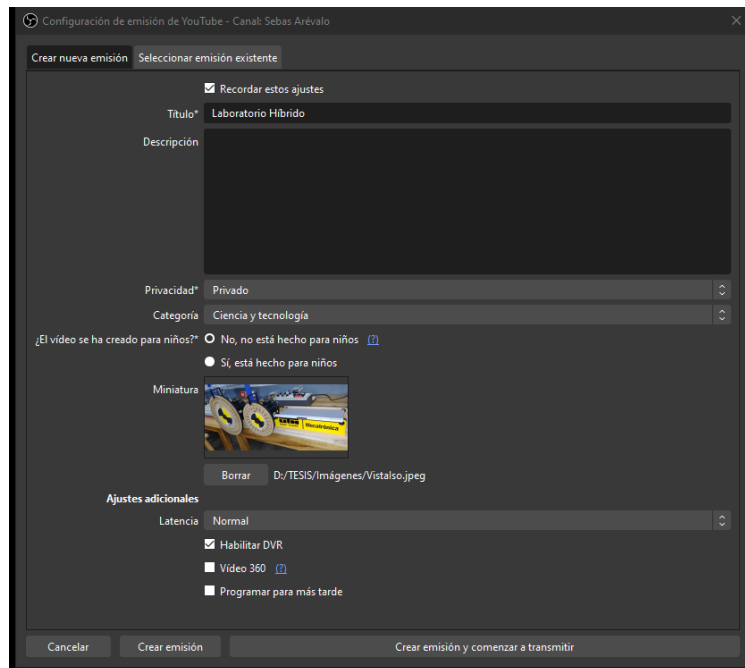


Para el casteo se ha de necesitar un perfil (disponible para su descarga), en el cual se configurará la plataforma de transmisión, en este caso, YouTube. OBS ofrece opciones de configuración de emisión, en los cuales se detallan los aspectos generales del casteo como se

visualiza en la Figura 6.

Figura 6

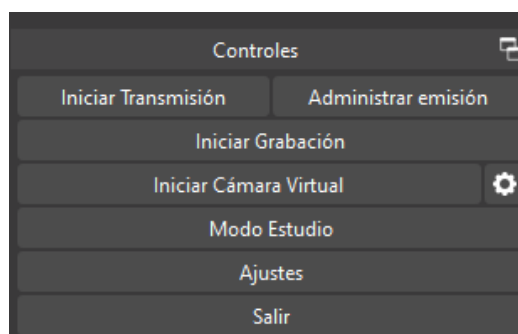
Configuración de transmisión.



La transmisión se ejecutará en la cuenta de YouTube configurada en el perfil, mismo que se modifica según quien organice la práctica. El casteo empezará cuando se seleccione “Iniciar transmisión” y esta se ejecutará en el sitio web mencionado, ver Figura 7 y 8 respectivamente .

Figura 7.

Barra de control de la transmisión.



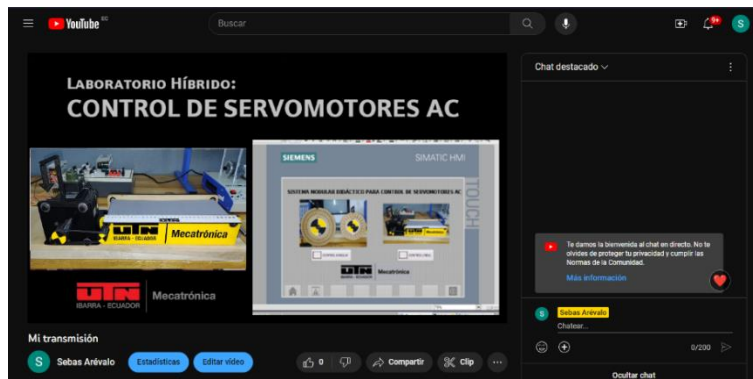


Sistema modular didáctico para prácticas de control de servomotores AC
Manual de Usuario



Figura 8

Prueba de Transmisión en YouTube.





3 Descripción del Sistema

El sistema modular didáctico para control de servomotores está compuesto por tres subsistemas, cada uno de ellos favoreciendo al funcionamiento y mejorando la experiencia de experimentación con servomotores. El subsistema 1 está compuesto por un ordenador con el programa desarrollado en el software TIA PORTAL V15, el cual contiene la configuración de un HMI virtual dotando la capacidad de seguimiento y control del proceso a distancia.

El subsistema 2 es integrado por elementos de control eléctrico, específicamente dos servodrivives y un controlador lógico programable.

3.1 Subsistema 1

La HMI implementada en el sistema modular permite al usuario la interacción con el proceso de manera virtual. El programa lógico está desarrollado en ladder en el entorno de programación de TIA PORTAL V15, donde se encuentra la configuración de los ejes y las funciones necesarias para controlar dos servomotores en simultáneo. Se hace uso de “Objetos tecnológicos” para la configuración de los ejes donde, se seleccionará la señal tipo PTO (Salida de Tren de Pulsos) y se activarán las salidas Q 0.0 y Q 0.1 del PLC para el eje uno y, Q 0.3 y Q0.4 para el eje dos, correspondientes a las señales de Pulse (pulso) y Direction (dirección) como se evidencia en la Figura 9.

La activación de los servodrivives DA98D, requieren de una señal para su habilitación, por lo tanto, se la genera con la dirección Q 0.2 del PLC. El uso de los servomotores GSK 110 JST, nos proporciona una resolución de 10 000 pulsos por revolución [1], dicho valor se introduce en el apartado de “Parámetros extendidos” como se indica en la Figura 10, al igual que el dato de “movimiento de carga por revolución” el cual no es más que el perímetro de los

módulos graduados, para el primer módulo (disco graduado en grados) será de 942,5 mm y para el segundo módulo (disco graduado en radianes) será de 628,31 mm.

Figura 9

Configuración de ejes.

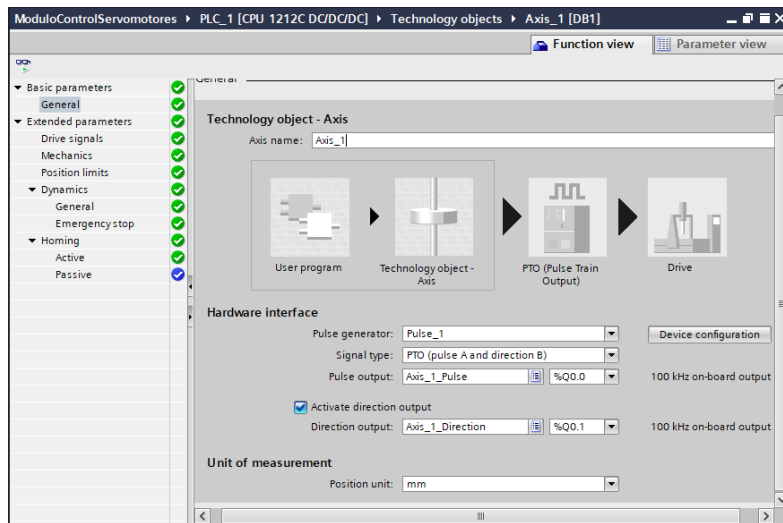
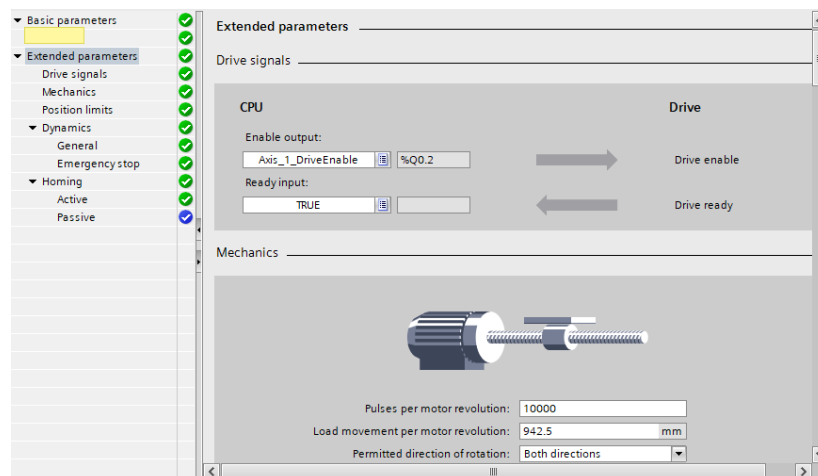


Figura 10

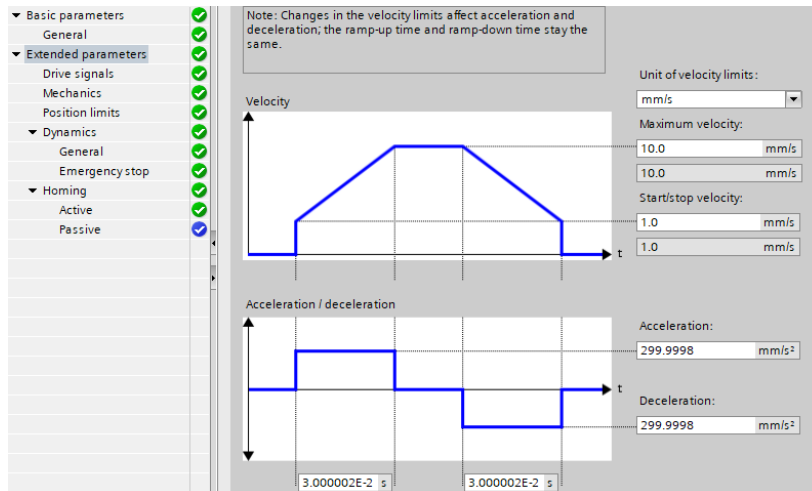
Configuración de parámetros extendidos.



Aunque se recomienda trabajar con los valores de velocidad máxima y aceleración ya seteadas, de ser necesario, se pueden modificar tal como se observa en la Figura 11.

Figura 11.

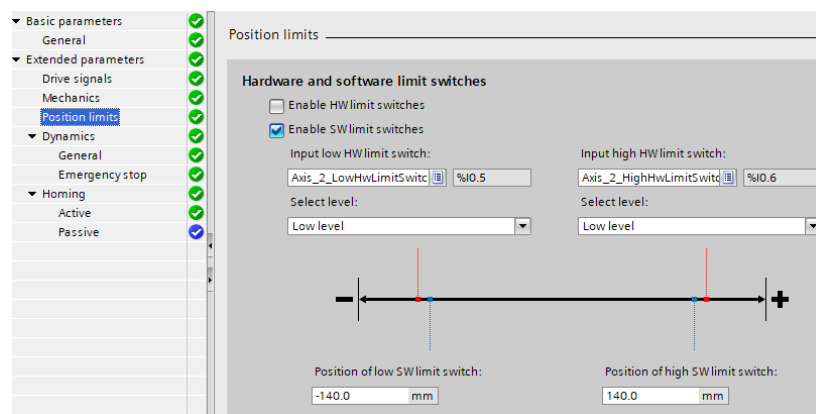
Configuración de velocidad máxima y aceleración.



El eje encargado del control de la banda transportadora es el eje dos (“Axis_2” en el programa), por lo que, para su configuración dentro de “Posiciones límite” es necesaria la implementación de finales de carrera, tanto de tipo software como físicos, de esta manera se logra mantener un doble control de desplazamiento dentro de los parámetros seteados como seguros, en este caso un intervalo entre los -140 a 140 milímetros como se indica en la Figura 12.

Figura 12.

Configuración de finales de carrera.



Dentro del árbol del proyecto se encuentra la configuración del HMI, el cual contiene cuatro ventanas. La primera, denominada “Ventana Raíz” (ver Figura 13) muestra dos

alternativas de experimentación, una para control de posición y velocidad angular y otra para control lineal, ventanas que son accesibles al dar clic en los botones correspondientes.

Figura 13

Ventana de inicio.

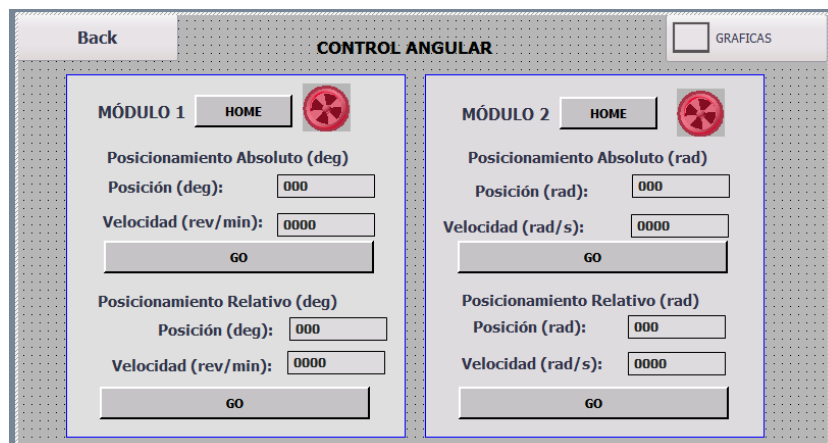


3.1.1 Ventana 2

La ventana dos corresponde al control de posición y velocidad angular de los ejes ya configurados como se indica en la Figura 14, el usuario tendrá control absoluto movimiento a movimiento del servomotor seleccionado o en su defecto, mientras uno está ejecutando la instrucción del usuario, el otro también podría ser accionado en simultáneo. Para ello se explicará a continuación cada una de las funcionalidades de esta ventana.

Figura 14


Ventana de control de posición y velocidad angular.



El botón de “HOME”, dirige al módulo indicado al valor cero seteado en el programa en cualquier momento. Para ejecutar un movimiento en una escala absoluta en el módulo 1 (disco graduado en grados), se requiere introducir dos datos, posición (en grados) y velocidad (en revoluciones por minuto) en los apartados debajo del título “Posicionamiento Absoluto (deg)” tal cómo se indica en la Figura 15.

Figura 15.

Control de posición y velocidad absoluta módulo 1.

MÓDULO 1 HOME 

Posicionamiento Absoluto (deg)

Posición (deg):

Velocidad (rev/min):

Para ejecutar un movimiento en una escala relativa en el módulo 1 (disco graduado en grados), se requiere introducir dos datos, posición (en grados) y velocidad (en revoluciones por minuto) en los apartados debajo del título “Posicionamiento Relativo (deg)” tal cómo se indica en la Figura 16.

Figura 16

Control de posición y velocidad absoluta módulo 1.

Posicionamiento Relativo (deg)

Posición (deg):

Velocidad (rev/min):

Para ejecutar un movimiento en una escala absoluta en el módulo 2 (disco graduado en

radianes), se requiere introducir dos datos, posición (en radianes) y velocidad (en radianes por segundo) en los apartados debajo del título “Posicionamiento Absoluto (rad)” tal cómo se indica en la Figura 17.

Figura 17.

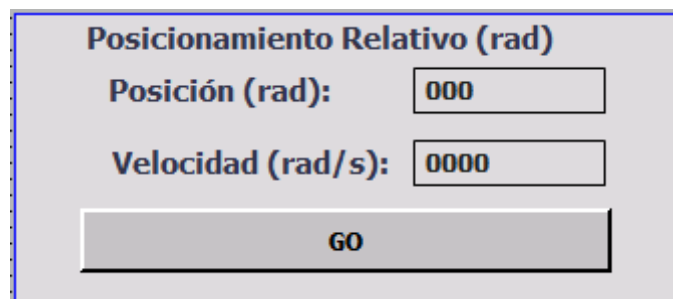
Control de posición y velocidad absoluta módulo 2.



Para ejecutar un movimiento en una escala relativa en el módulo 2 (disco graduado en radianes), se requiere introducir dos datos, posición (en radianes) y velocidad (en radianes por segundo) en los apartados debajo del título “Posicionamiento Relativo (rad)” tal cómo se indica en la Figura 18.

Figura 18

Control de posición y velocidad relativa módulo 2.

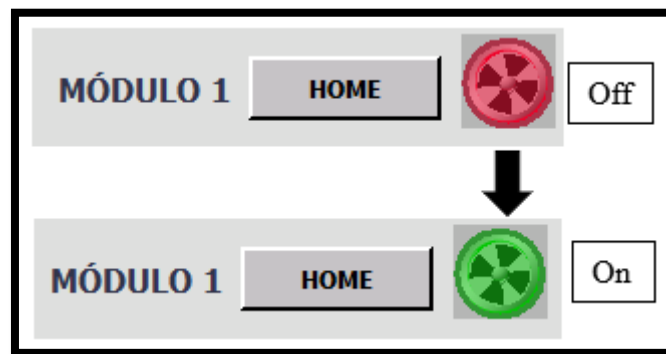


El indicador (ver Figura 19) de estado cambia de color a verde cuando el movimiento del módulo especificado en el título que está junto se está ejecutando, cuando termina su movimiento regresa al color rojo especificando que el eje está detenido. El botón “GRAFICAS”

redirecciona al usuario a la “Ventana 4”, mientras que el botón “BACK”, retorna a la ventana de inicio.

Figura 19

Indicador de estados.

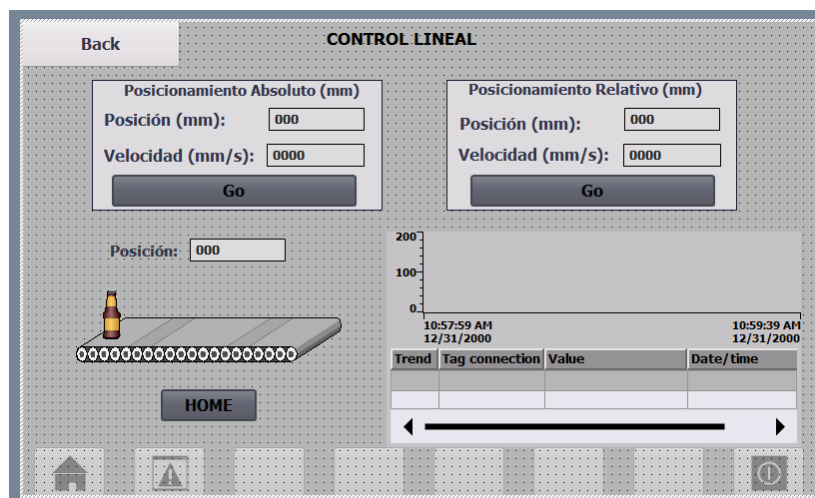


3.1.2 Ventana 3

Esta ventana corresponde al control de posición y velocidad lineal de un eje, aplicada a una banda transportadora que será implementada en el sistema modular y también simulada en la actual ventana evidenciada en la Figura 20.

Figura 20

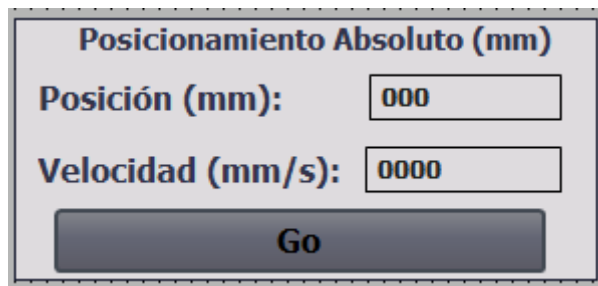
Ventana 3.



El primer movimiento para la correcta ejecución de las prácticas de laboratorio en el módulo 3 (banda transportadora), será ir a “Home”, seteado en el centro de la banda. Para ejecutar un movimiento en una escala absoluta en el mencionado módulo se requiere introducir dos datos, posición (en mm) y velocidad (en mm/s) en los apartados debajo del título “Posicionamiento Absoluto (mm)” tal cómo se indica en la Figura 21.

Figura 21

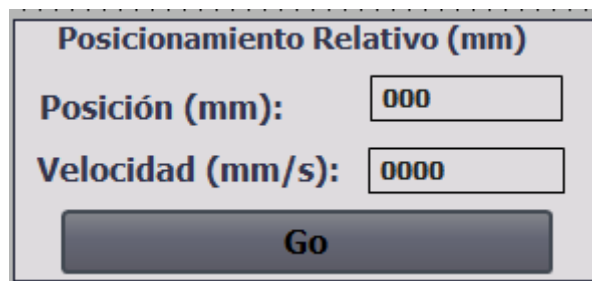
Control de posicionamiento absoluto módulo 3.



Para ejecutar un movimiento en una escala relativa en el módulo 3, se requiere introducir dos datos, posición (en mm) y velocidad (en mm/s) en los apartados debajo del título “Posicionamiento Relativo (mm)” tal cómo se indica en la Figura 22.

Figura 22

Control de posicionamiento relativo módulo 3.

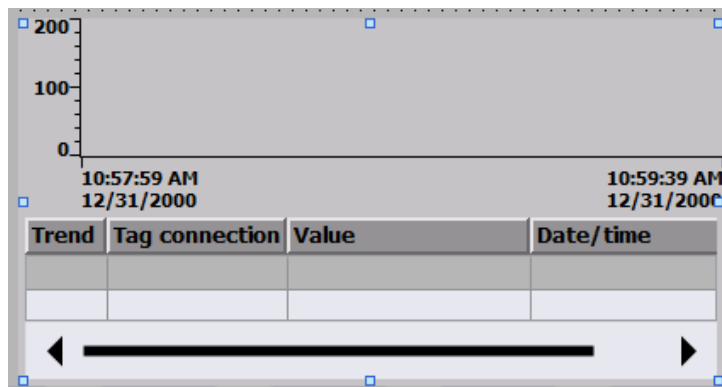


En la ventana 3 se cuenta con una “Vista de tendencia” (ver figura 23) donde se registrarán los movimientos realizados por el usuario, generando un historial del funcionamiento del sistema, en dicha ventana se mostrarán cuatro líneas que representan los siguientes gráficos:

- Posición absoluta vs tiempo.
- Posición relativa vs tiempo.
- Velocidad (movimiento absoluto) vs tiempo.
- Velocidad (movimiento relativo) vs tiempo.

Figura 23

Ventana de tendencia del proceso.

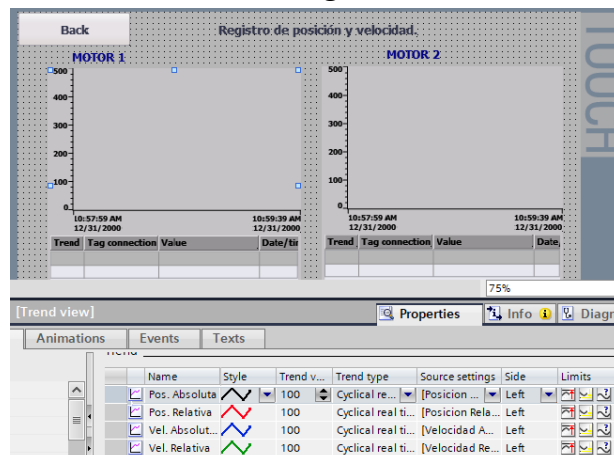


3.1.3 Ventana 4

En esta ventana se encuentran los registros de movimientos ejecutados en la Ventana 2, cada “ventana de tendencia”, observadas en la Figura 24, contiene las cuatro gráficas necesarias para especificar el movimiento de los módulos 1 y 2.

Figura 24

Ventanas de tendencia del Control angular.



3.1.4 Mensajes de error

- Si la velocidad es mayor a la velocidad máxima seteada, se presentará una alerta especificando el problema.
- El desplazamiento de la banda imita el movimiento de un desplazador lineal, por lo que, si el valor del posicionamiento lineal es mayor a los límites seteados en la configuración, también se emitirá una señal de alarma.

3.2 Subsistema 2

El subsistema 2 consta de elementos de control eléctrico y de potencia, mismos que se encuentran detallados en el plano correspondiente presente en Anexos. Previa la ejecución de las prácticas, el Técnico Docente, deberá tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- Revisar la correcta conexión de los cables en los “sockets” de los servomotores como se visualiza en la Figura 25.

Figura 25

Correcta conexión de los servomotores.



- Conectar las entradas I0.0 e I0.1 correspondientes a los finales de carrera en la “Bancada de pruebas de servomotores AC” tal como se indica en la Figura 26.

Figura 26

Conexión de los finales de carrera 1 y 2.



- Posicionar el selector de la “Bancada de pruebas de servomotores AC” en ON para energizar al sistema modular.
- Verificar que el PLC se encuentre en RUN.
- Configurar los siguientes parámetros mencionados en la Tabla 1 en los servodrives:

Tabla 1

Parámetros configurados en el servodrive

PA	Valor
3	3
4	0
12	1
13	1
14	0
16	0
20	1

¡ADVERTENCIA!



No manipular el circuito de potencia y de control encontrado en la Bancada de pruebas, informe al responsable de laboratorio en caso de alguna avería.

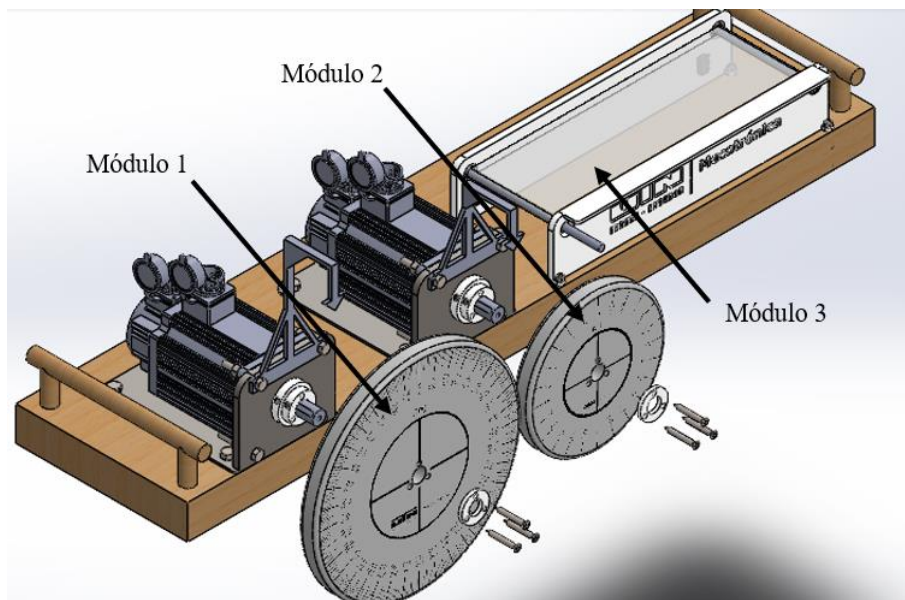
El plano eléctrico está disponible en Anexos para eventuales refacciones.

3.3 Subsistema 3

El subsistema mecánico consta de las piezas y partes especificadas en los planos mecánicos disponibles en Anexos. Se divide principalmente en 3 Módulos como se observa en la Figura 27, siendo los dos primeros correspondientes a prácticas de posicionamiento angular y el tercero para posicionamiento lineal.

Figura 27

Modelo 3D del Sistema Modular.



Nota: El modelado mecánico fue realizado en el software SOLIDWORKS Educational.

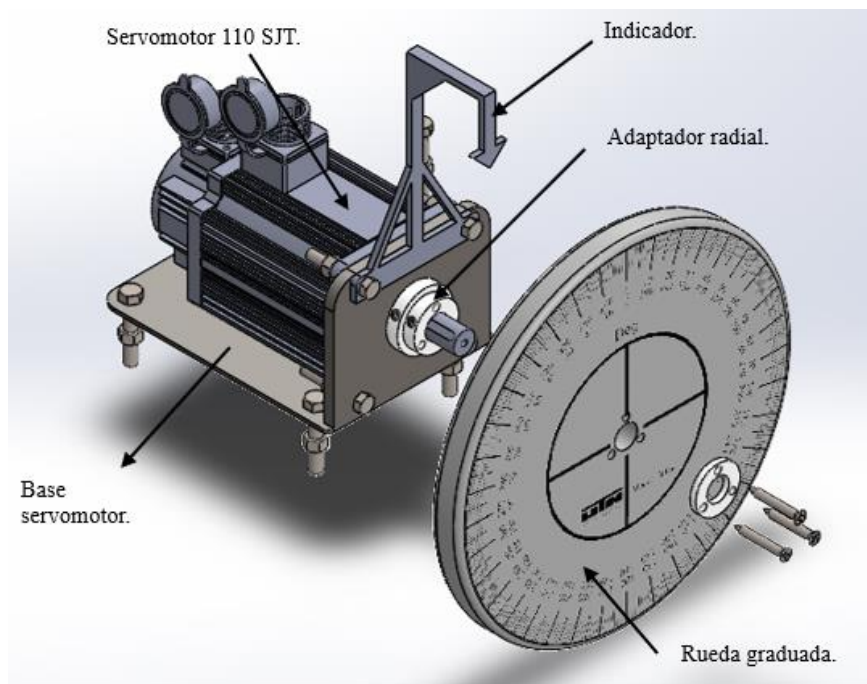
3.3.1 Módulo 1

El módulo 1 es un conjunto de piezas que ayuda a la recepción de información visual del movimiento angular de un servomotor. Su ensamblaje es sencillo y consta de las siguientes piezas, mismas que se visualizan en la Figura 28:

- Base del servomotor.
- Servomotor 110 SJT.
- Indicador.
- Adaptador radial.
- Rueda graduada en grados.

Figura 28.

Vista explosionada del Módulo 1.



Nota: El modelado mecánico fue realizado en el software SOLIDWORKS Educational.

Los demás elementos como pernos y tuercas se especifican en los planos mecánicos.

El Docente Técnico o responsable de la práctica de laboratorio debe tomar las siguientes consideraciones antes de empezar a emplearlo:

- ✓ El servomotor debe estar muy bien fijado a la base metálica, con el fin de evitar vibraciones y movimientos no deseados. Para ello se ajustará muy bien los pernos que allí yacen.
- ✓ El adaptador radial debe estar muy bien ajustado, tanto en el eje y en la rueda a través de la rodela, por lo tanto, se verificará su ajuste con llaves “Allen”.
- ✓ Despejar muy bien el área de acción de los módulos, los servomotores tienen una capacidad industrial, por lo que se tomarán las medidas de seguridad necesarias consideradas por el responsable de las prácticas.

Su funcionalidad se limita a las piezas ya mencionadas, por lo que se recomienda no despiezarlo.

3.3.2 Módulo 2

Este módulo es una adaptación del primero, por lo que sus partes y su ensamblaje es muy similar al primero, refiérase a la sección anterior para obtener más información.

3.3.3 Módulo 3

Para empezar con la experimentación con el Módulo 3, primero retire la rueda graduada del Módulo 2 desajustando los pernos Allen correspondientes al “Adaptador radial”. A continuación, lleve hacia al frente la rueda graduada y retírela hacia abajo como se indica en la Figura 29.

Figura 29.

Instalación del módulo 3.

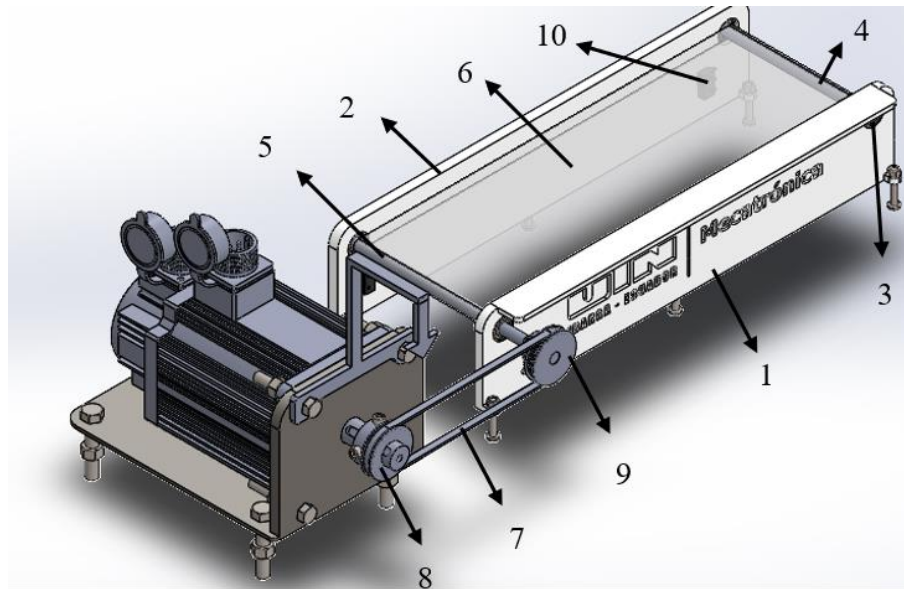


El módulo 3 simula una banda transportadora, cada una de las partes se encuentran detallados en los planos mecánicos en Anexos, sin embargo, se presenta en la Figura 30 los elementos constitutivos que no se hayan mencionado anteriormente:

- Cara posterior (1).
- Cara anterior (2).
- Rodamientos 9 mm (3).
- Eje 9 mm x 150 mm (4).
- Eje 9 mm x 200 mm (5).
- Banda transportadora (6).
- Banda GT2 6mm x 400 mm (7).
- Polea GT2 40 T 20 mm (8).
- Polea GT2 40 T 9 mm (9).
- Finales de carrera (10).

Figura 30.

Vista isométrica del modelo del Módulo 3.



Nota: El modelado mecánico fue realizado en el software SOLIDWORKS Educational.

Los demás elementos como pernos y tuercas se especifican en los planos mecánicos.

El Docente Técnico o responsable de la práctica de laboratorio debe tomar las siguientes consideraciones antes de empezar a emplearlo:

- ✓ Primero instalar el sistema de transmisión, colocando al mismo tiempo la banda GT2 y la polea (8), tener en cuenta que la banda debe estar correctamente alineada como se muestra en la Figura 31.
- ✓ Ajustar muy bien los pernos Allen de las poleas.
- ✓ Despejar muy bien el área de acción de los módulos, los servomotores tienen una capacidad industrial, por lo que se tomarán las medidas de seguridad necesarias consideradas por el responsable de las prácticas.
- ✓ Solicitar al estudiante como primera acción, llevar la banda a la posición

“HOME” mediante la HMI virtual.

Figura 31

Instalación de la banda y polea GT2.





4 FAQ

1. ¿Qué hacer cuando existe problema de conectividad con el PLC?

En la mayoría de las ocasiones se adjudica este problema a una mala configuración de dirección IP, remítase a la sección 2.2.1 para guiarse en el proceso de configuración del protocolo PROFINET.

2. ¿Cómo habilitar una cuenta de YouTube para la emisión de video en vivo?

Se habilita dentro de la configuración del canal de la cuenta de YouTube del Host, este proceso puede tardar hasta 24 horas, por lo que se recomienda hacer este proceso con anterioridad.

3. ¿Se transmite en otros canales?

Sí, en la configuración del perfil mencionado en la sección 2.2.2, se configura el canal de su preferencia siempre y cuando esté disponible dentro del software OBS.

4. ¿Qué hacer en caso de avería en una de las piezas impresas en 3D?

Se recomienda su reemplazo inmediato, los archivos STL se encuentran en el siguiente enlace para su libre descarga y reproducción: <https://n9.cl/sjslx>

5. ¿Cómo configurar HOME en caso de desalineación en uno de los módulos?

“HOME” es una posición absoluta ya seteada en el programa de TIA PORTAL, sin embargo, para configurarlo nuevamente, se posiciona manualmente (mediante la interfaz o por manipulación) y se presiona el botón de “HOME” en la HMI virtual.



5 GLOSARIO

Término	Descripción
HMI	Interfaz Humano - Máquina
PLC	Controlador Lógico Programable
OBS	Software de Radio-emisor Abierto
PROFINET	Red de Campo de Proceso



6 BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS

- [1] GSK CNC Equipment Co, “DA98D Digital AC Servo Drive Unit User Manual,”
Guangzhou, 2007.



Mecatrónica

***Sistema modular didáctico para prácticas de control de
servomotores AC***

Guías de prácticas de laboratorio

Versión: 0001

Fecha: 23/07/2023



1 Práctica Uno: Control de Posición y Velocidad Angular de Servomotores.

1.1 Objetivos:

1.1.1 *Objetivo general.*

Explorar las diversas funcionalidades del sistema modular a través del HMI virtual.

1.1.2 *Objetivos específicos.*

Controlar la posición y velocidad angular de los ejes disponibles en el sistema modular.

Obtener un registro de los movimientos ejecutados con el sistema modular.

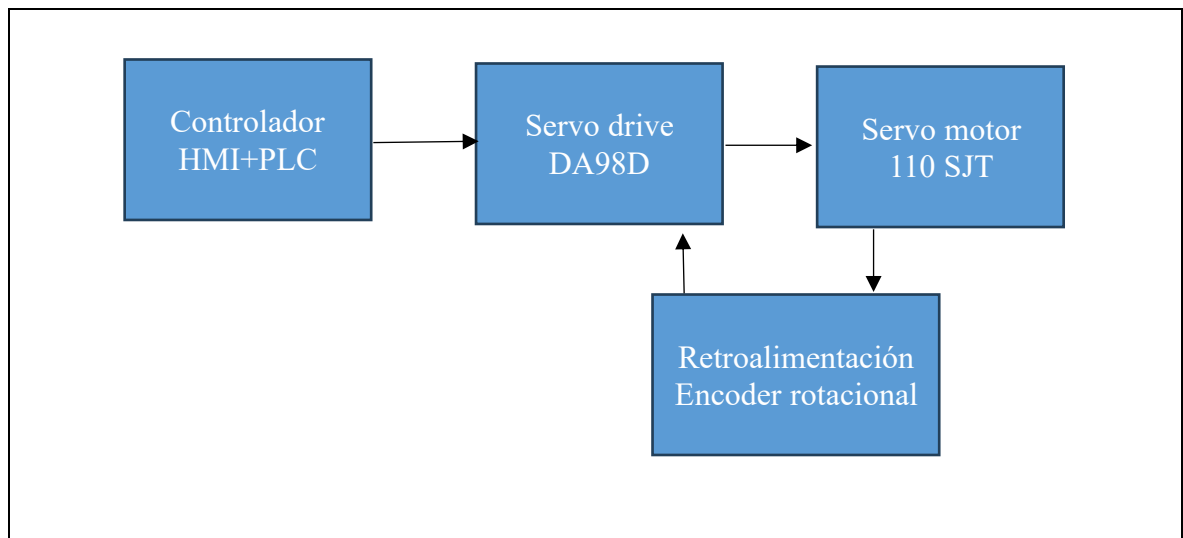
1.2 Introducción:

Los servomecanismos son ampliamente implementados en la industria de la manufactura por la capacidad de ser controlados con absoluta precisión. Las herramientas CNC revolucionaron la industria y es por ello por lo que el estudio y comprensión de sistemas de control para servomotores AC es de vital importancia en la formación de un Ingeniero/a en Mecatrónica. El sistema modular presenta funciones que ayudan en el proceso de comprensión del funcionamiento de un eje.

Un servosistema está constituido generalmente por 4 elementos indispensables como se muestra en la Figura 1. El controlador es aquel elemento electrónico capaz de gestionar las señales de entrada (sensores), procesarlas y emitir señales de respuesta. El servo-drive es el dispositivo encargado de traducir dichas señales y proporcionar la potencia necesaria para que el servomotor pueda llevar su acción de movimiento, este último es el tercer elemento y el cuarto es un dispositivo que genera una señal de retroalimentación al sistema, en este caso, el encoder rotacional integrado al servomotor, cerrando el lazo de control.

Figura 1

Lazo cerrado de control de un servomotor AC.



1.3 Materiales:

La lista de materiales necesarios para la ejecución de esta práctica de laboratorio se especifica en la Tabla 1.

Tabla 1

Lista de materiales para práctica de laboratorio 1.

Ítem	Descripción	Cantidad
1	Módulo 1 – 2 del sistema modular	1
2	Servomotor GSK 110 SJT	2
3	Servo drive DA98D	2
4	PLC S7 1200	1
5	Computador	1
6	Cámara	1

1.4 Procedimiento:

1. Si la práctica se va a ejecutar de manera virtual, remítase al manual de usuario para la previa configuración del canal y de la transmisión en vivo.
2. Conectar cables de alimentación y de retroalimentación de los servomotores como se indica en la Figura 2, asegúrese de realizar este procedimiento antes de conectarse al PLC y de encender la bancada de pruebas de servomotores.

Figura 2

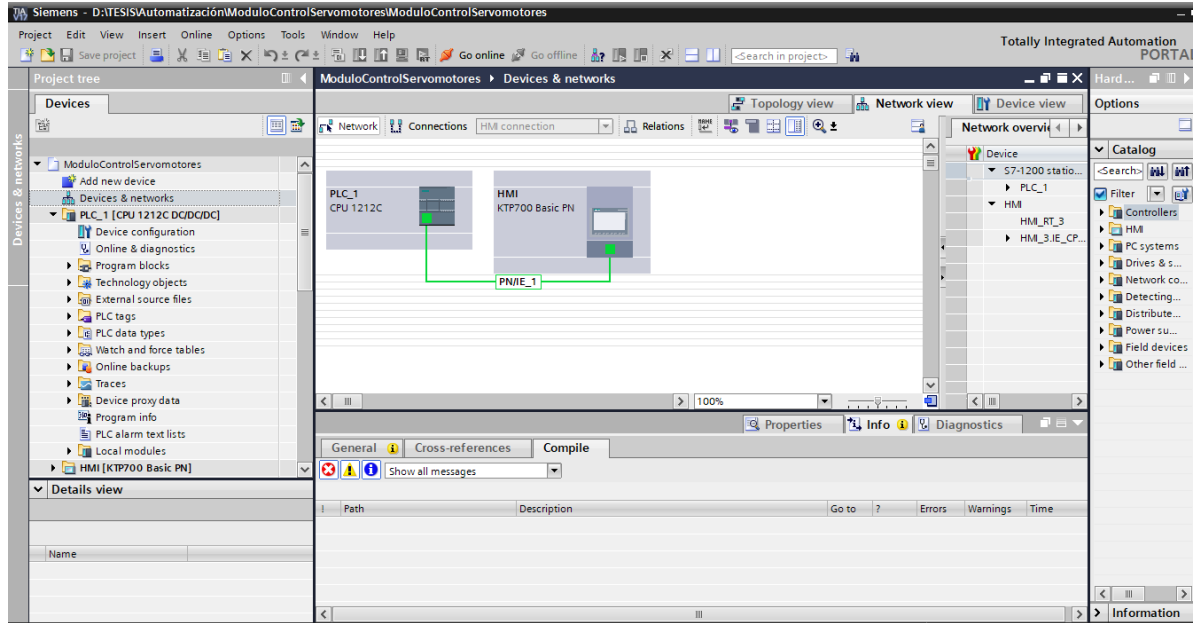
Cable de alimentación y retroalimentación conectados.



3. Encender la bancada de pruebas de servomotores.
4. Conectarse vía PROFINET con un cable de red al PLC S7 1200 .
5. Ejecutar el proyecto “ModuloControlServomotores” en el software TIA PORTAL como lo muestra la Figura 3.

Figura 3

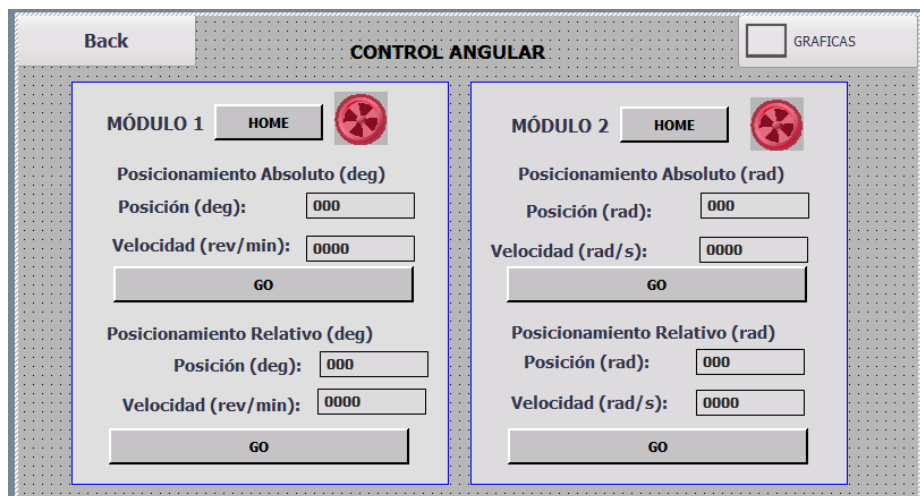
Abrir y ejecutar el proyecto.



6. Al iniciar la pantalla de inicio del HMI virtual, pulse el botón “Control angular” para dirigirse a la ventana que se muestra en la Figura 4.

Figura 4

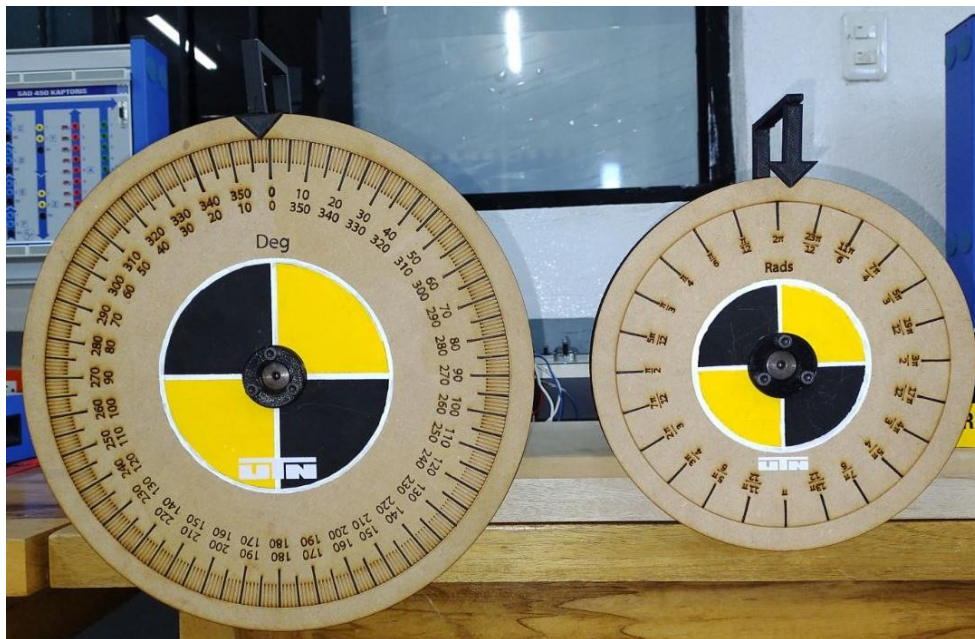
Ventana “Control Angular”.



7. La ventana muestra 4 secciones de control divididas en dos ejes, antes de ingresar los datos, asegúrese que los módulos estén correctamente centrados como se indica en la Figura 5. A continuación presione “HOME” para configurar el 0 absoluto.

Figura 5

Módulos calibrados.



8. A continuación, se muestra una tabla de posiciones a las cuales el estudiante deberá llevar cada módulo. Para ello se ingresará la información dotada en la Tabla 2 en las secciones correspondientes de la ventana.

Nota: Recuerde realizar los movimientos uno a uno.



Tabla 2

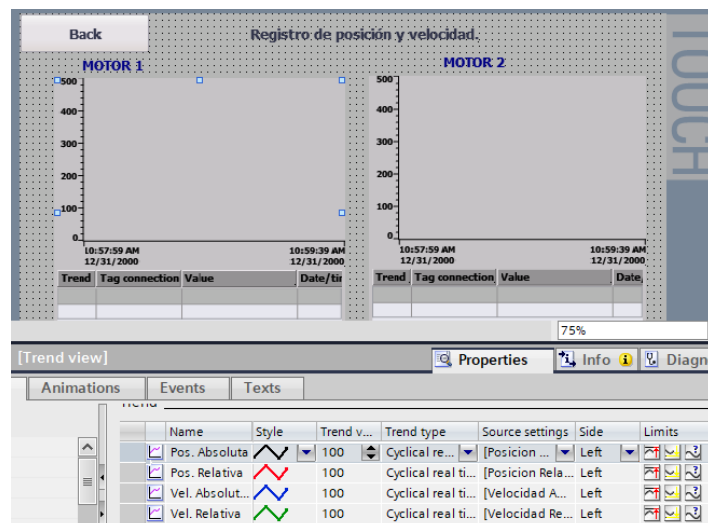
Posiciones para seguir:

Módulo	T. movimiento	N °	Posición	Velocidad
1	Absoluto	1	90 deg	60 rev/min
		2	270 deg	30 rev/min
	Relativo	3	- 45 deg	90 rev/min
		4	360 deg	10 rev/min
2	Absoluto	5	pi/2 rad	2pi rad/s
		6	-5pi/6 rad	4pi rad/s
	Relativo	7	5pi/3 rad	pi/2 rad/s
		8	2pi	pi rad/s

- Presione el botón de “GRÁFICAS” y tome una evidencia de su práctica en la ventana mostrada en la Figura 6.

Figura 6

Ventana de tendencia del proceso.





1.5 Resultados:

- Calcule la posición absoluta final de cada Módulo y repórtelas en la siguiente sección:

Cálculos posición final absoluta:

- Contraste el valor obtenido teórico con el valor leído en los módulos, adjunte una fotografía que evidencie el resultado.

Posición final Módulo 1	Posición final Módulo 2

- Adjunte también el registro de movimientos obtenida en el Paso 9 del procedimiento.



2 Práctica Dos: Seguimiento Solar a Dos Ejes

2.1 Objetivos:

2.1.1 *Objetivo general.*

Simular el movimiento de dos ejes de un posicionador solar tipo radar.

2.1.2 *Objetivos específicos.*

Analizar una aplicación industrial real con el uso de servomotores AC.

2.2 Introducción:

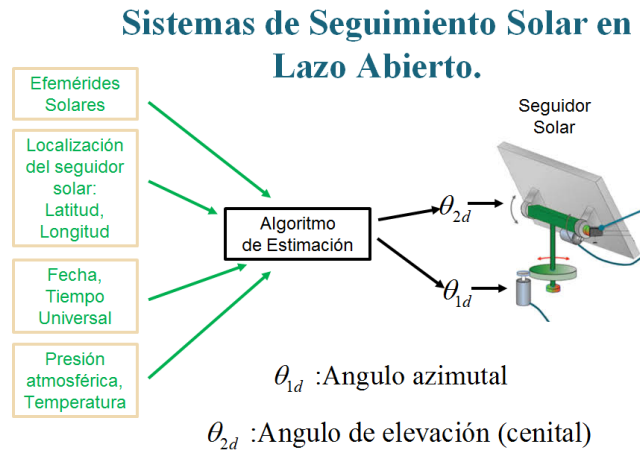
El desarrollo tecnológico beneficia el auge de las “energías renovables”. Las celdas fotovoltaicas son excelentes dispositivos de generación de energía eléctrica por lo que, es necesario el trabajo constante en la optimización de mecanismos y algoritmos de control de posicionamiento de mencionadas celdas, a menudo se emplean motores a pasos o máquinas eléctricas similares para este fin [1].

El seguidor solar a dos ejes cuenta con dos grados de libertad y es capaz de realizar un seguimiento total de la trayectoria del sol, tanto en inclinación como en azimut como se muestra en la Figura 7, su rendimiento superior frente al seguidor de un solo eje lo hace una solución viable en el aprovechamiento energético, aunque este podría resultar más costoso [2].

El desplazamiento del segundo eje describe una trayectoria parabólica respecto al tiempo, mientras el eje azimutal mantendrá un desplazamiento angular constante para ello se emplearán servomotores AC.

Figura 7

Sistema de seguimiento solar en lazo abierto.



Nota:

Recuperado

de:

https://www.ctrl.cinvestav.mx/~garrido/lineasdeinvest_rgarridoo.html

2.3 Materiales:

La lista de materiales necesarios para la ejecución de esta práctica de laboratorio se especifica en la Tabla 3.

Tabla 3

Lista de materiales para práctica de laboratorio 2.

Ítem	Descripción	Cantidad
1	Módulo 1 – 2 del sistema modular	1
2	Servomotor GSK 110 SJT	2
3	Servo drive DA98D	2
4	PLC S7 1200	1
5	Computador	1
6	Cámara	1

2.4 Procedimiento:

1. Si la práctica se va a ejecutar de manera virtual, remítase al manual de usuario para la previa configuración del canal y de la transmisión en vivo.
2. Conectar cables de alimentación y de retroalimentación de los servomotores como se indica en la Figura 8, asegúrese de realizar este procedimiento antes de conectarse al PLC y de encender la bancada de pruebas de servomotores.

Figura 8

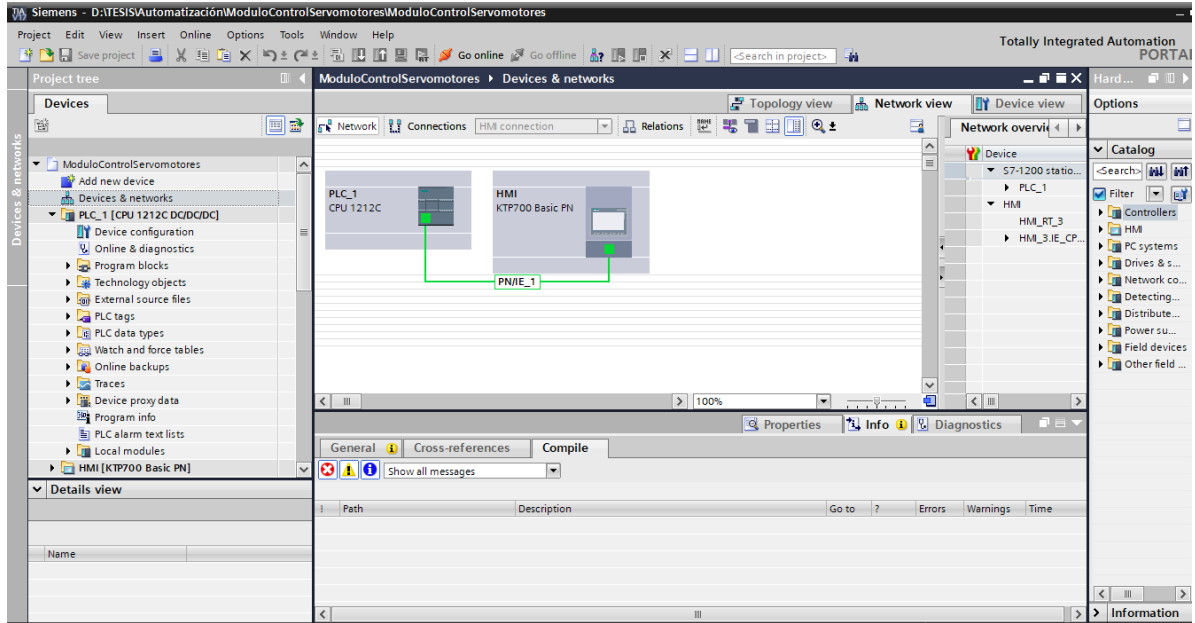
Cable de alimentación y retroalimentación conectados.



3. Encender la bancada de pruebas de servomotores.
4. Conectarse vía PROFINET con un cable de red al PLC S7 1200.
5. Ejecutar el proyecto “ModuloControlServomotores” en el software TIA PORTAL como lo muestra la Figura 9.

Figura 9

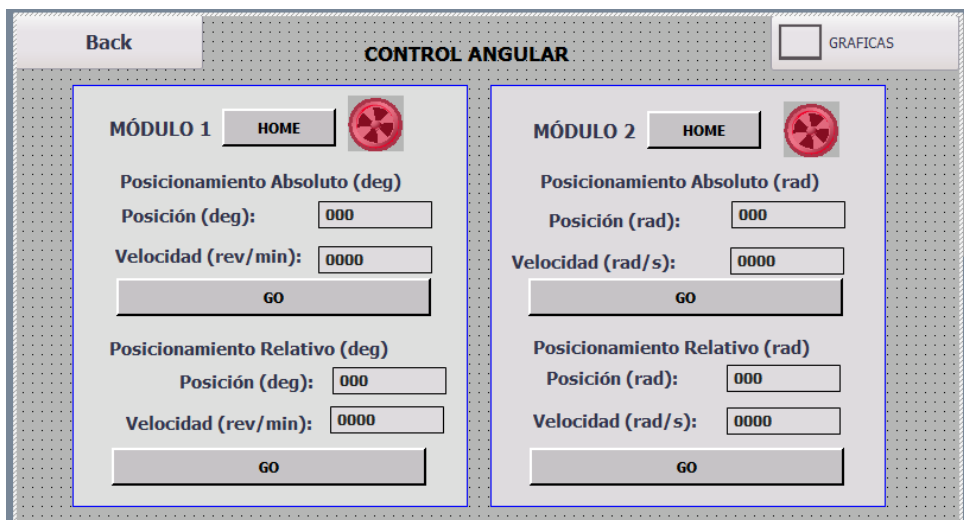
Abrir y ejecutar el proyecto.



- Al iniciar la pantalla de inicio del HMI virtual, pulse el botón “Control angular” para dirigirse a la ventana que se muestra en la Figura 10.

Figura 10

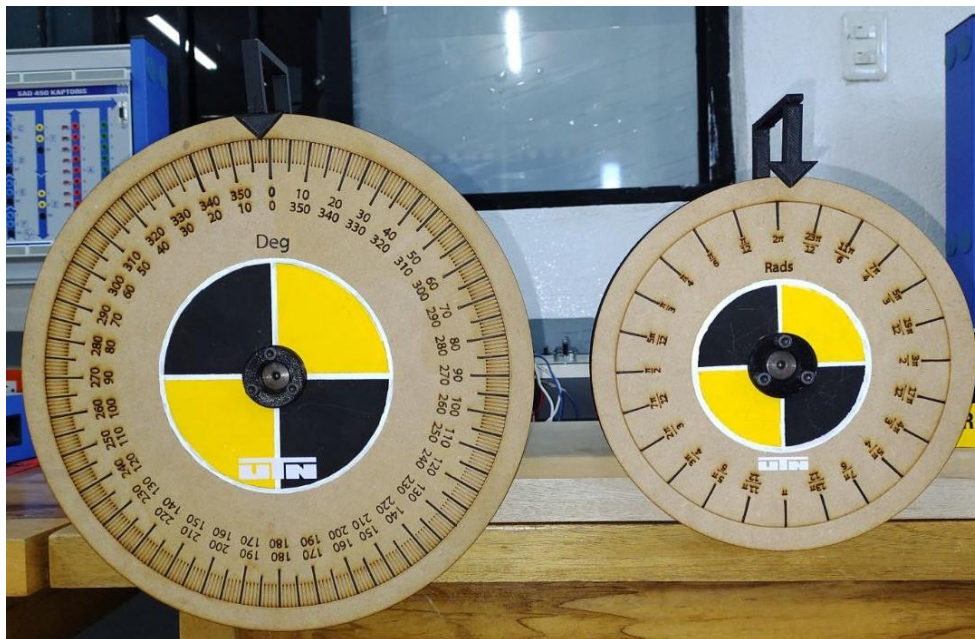
Ventana “Control Angular”.



7. La ventana muestra 4 secciones de control divididas en dos ejes, antes de ingresar los datos, asegúrese que los módulos estén correctamente centrados como se indica en la Figura 11. A continuación presione “HOME” para configurar el 0 absoluto.

Figura 11

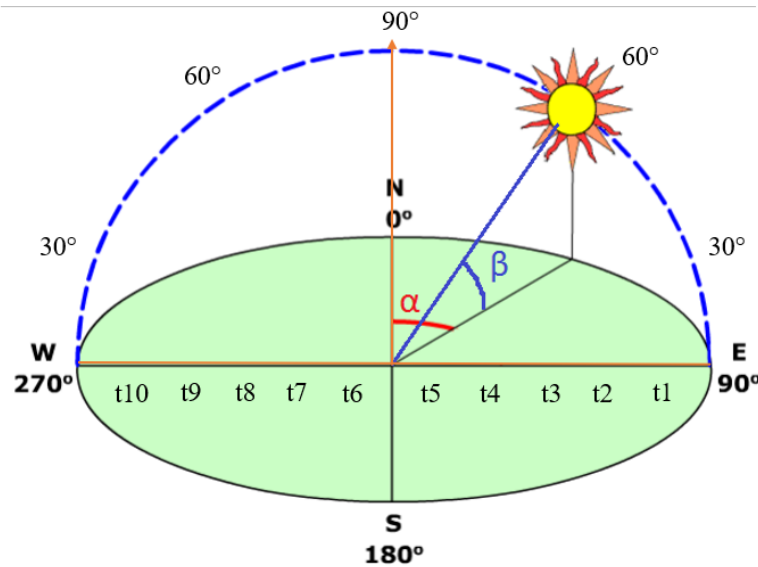
Módulos calibrados.



8. A continuación, en la Figura 12, se muestra un diagrama posición/tiempo que describe la trayectoria que debe seguir el primer eje, abstraiga la información y los pares ordenados necesarios para simular dicho movimiento (mínimo 5).

Figura 12

Trayectoria solar de referencia.



9. Para el eje azimutal, configure un desplazamiento de $\frac{1}{2}$ revolución, con una velocidad relativamente baja con la intención de tener el tiempo suficiente para ejecutar los movimientos fijados en el paso 8.

2.5 Resultados:

- En la Tabla 4, digite los valores de posición y tiempos abstraídos. El valor del tiempo debe ser calculado con el valor de velocidad seteado en el Módulo 2, luego, dividida ese valor para el número de posiciones seleccionadas. (¿Cuánto tardará el módulo 2 en moverse $\frac{1}{2}$ revolución a la velocidad seteada por el estudiante?)

Cálculos:



Tabla 4

Listado de movimientos a ejecutarse.

Ítem	Posición angular (deg)	Tiempo
1		
2		
3		
4		
5		

Nota: Sea libre de seleccionar el modo de operación (absoluto/relativo) para alcanzar dichas posiciones.

- Agregue una captura de la ventana “GRÁFICAS” para evidenciar la correcta ejecución de la práctica.



3 Práctica Tres: Control de Posición y Velocidad Lineal.

3.1 Objetivos:

3.1.1 *Objetivo general.*

Ejecutar desplazamientos lineales con la banda transportadora del sistema modular.

3.1.2 *Objetivos específicos.*

Calcular el desplazamiento y velocidad lineal de un eje.

3.2 Introducción:

Las bandas transportadoras se utilizan como parte de los sistemas automatizados de distribución y almacenamiento. Son útiles para reducir la carga de trabajo de mover grandes volúmenes rápidamente de diferentes maneras, lo que permite a las empresas enviar o recibir grandes cantidades con un espacio de almacenamiento y costos reducidos [3].

Muchas veces son empleadas en una cadena de producción, donde es necesario el control de velocidad o posición lineal de la banda para la correcta integración y coordinación de subprocesos.

3.3 Procedimiento:

1. Si la práctica se va a ejecutar de manera virtual, remítase al manual de usuario para la previa configuración del canal y de la transmisión en vivo.
2. Conectar cables de alimentación y de retroalimentación de los servomotores como se indica en la Figura 13, asegúrese de realizar este procedimiento antes de conectarse al PLC y de encender la bancada de pruebas de servomotores.

Figura 13

Cable de alimentación y retroalimentación conectados.



3. Retirar el módulo 2 y colocar la polea junto con la banda de tiempo GT2 como se indica en la Figura 14.

Figura 14

Instalación del Módulo 3



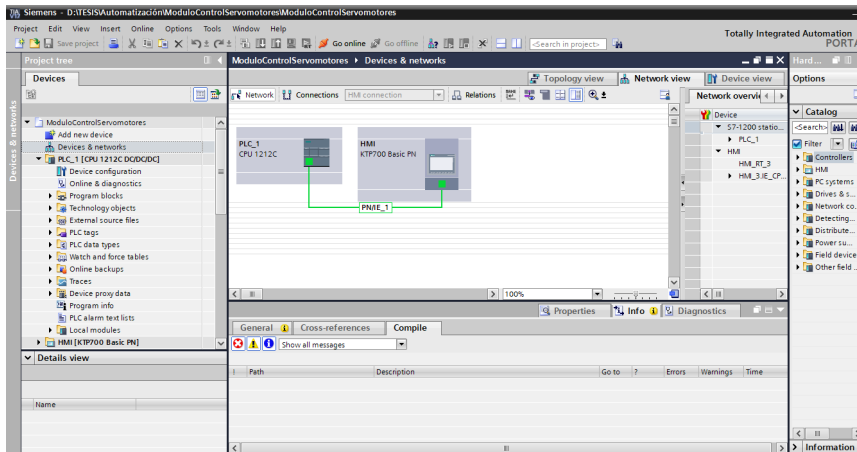
Nota: Asegúrese que la banda quede alineada correctamente.

4. Encender la bancada de pruebas y conectarse vía PROFINET con un cable de red al PLC S7 1200.

5. Ejecutar el proyecto “ModuloControlServomotores” en el software TIA PORTAL como lo muestra la Figura 15.

Figura 15

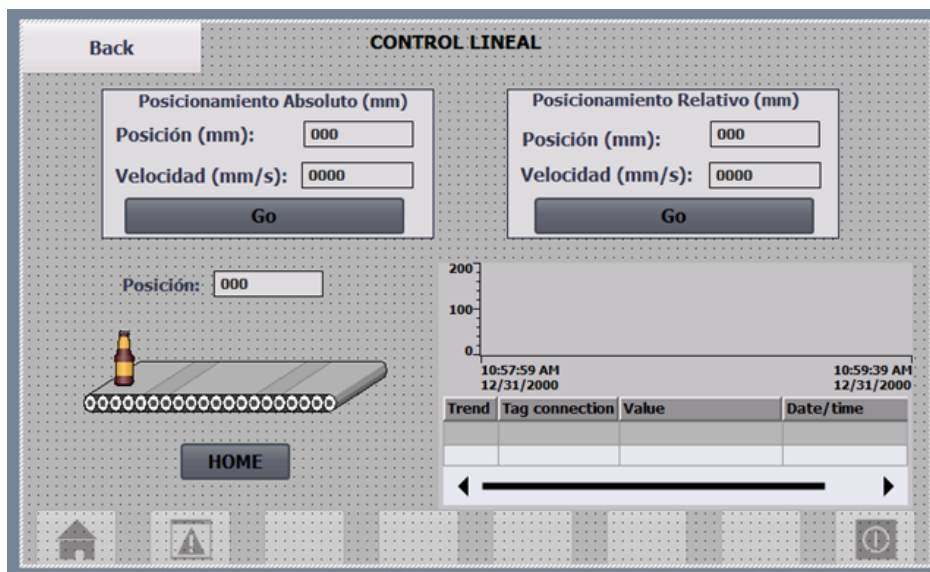
Abrir y ejecutar el proyecto.



6. Al iniciar la pantalla de inicio del HMI virtual, pulse el botón “Control lineal” para dirigirse a la ventana que se muestra en la Figura 16.

Figura 16

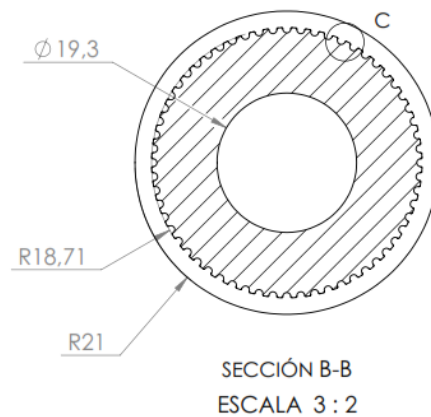
Ventana “Control lineal”.



7. Se calcula el desplazamiento lineal tomando en cuenta las dimensiones de las poleas dentadas empleadas, ver Figura 17 obtenida de los planos mecánicos (presentes en Anexos) para abstraer la dimensión necesaria.

Figura 17

Dimensiones de la polea.



Cálculo de desplazamiento lineal por revolución:

$$S = \theta * r$$

$$r = 9,35 \text{ mm}$$

$$\theta = 2\pi \text{ rad}$$

$$S = 2\pi * 9,35$$

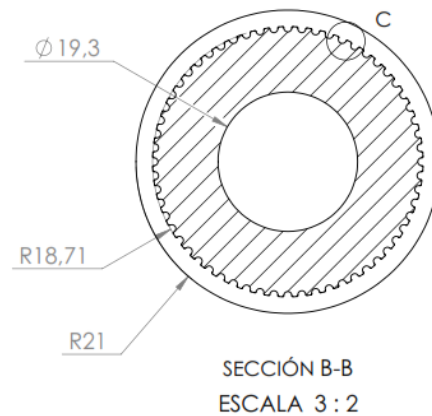
$$S = 58,74 \text{ mm}$$

8. Calibre la banda para que el indicador quede en el 0 de la regla graduada como se muestra en la Figura 18. Es posible hacerlo moviendo la banda a través del HMI virtual, cuando considere que la banda está centrada, presione HOME para configurar la

posición 0.

Figura 18

Banda calibrada.



9. A continuación, se muestra una tabla de posiciones a las cuales deberá llevar la banda transportadora. Para ello se ingresará la información dotada en la Tabla 2 en las secciones correspondientes de la ventana.

Tabla 5

Posiciones para seguir.

Módulo	T. movimiento	N °	Posición	Velocidad
3	Absoluto	1	-130 mm	50 mm/s
		2	100 mm	30 mm/s
	Relativo	3	-150 mm	70 mm/s
		4	50 mm	10 rev/min



3.4 Resultados:

- Calcule la posición lineal final absoluta del indicador de la banda transportadora y reporte el valor en el espacio siguiente:

Cálculo posición final del indicador de la banda:

- Adjunte una fotografía de la banda transportadora después de la ejecución de la práctica:

Fotografía del módulo 3 después de ejecutar la práctica:

- ¿El valor del indicador de la banda coincide con la posición final calculada? Si la respuesta es negativa, ¿Cuál podría ser la razón de la diferencia?

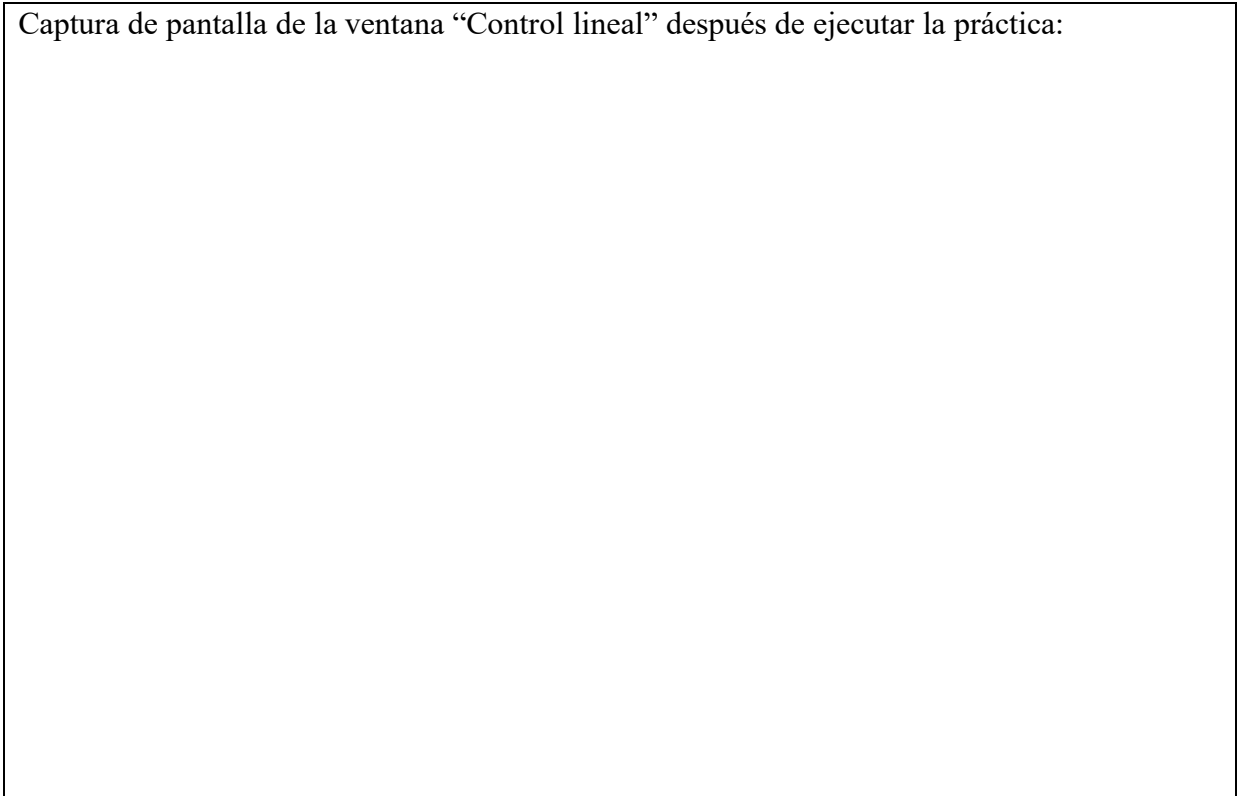


Sistema modular didáctico para prácticas de control de servomotores AC
Guía de laboratorio



- Adjunte una captura de la ventana “Control lineal” para evidenciar mediante la Ventana de tendencia del proceso la correcta ejecución de la práctica.

Captura de pantalla de la ventana “Control lineal” después de ejecutar la práctica:





4 Bibliografía

- [1] K. Kumar, L. Varshney, A. Ambikapathy, R. K. Saket, and S. Mekhilef, “Solar tracker transcript—A review,” *International Transactions on Electrical Energy Systems*, vol. 31, no. 12, Dec. 2021, doi: 10.1002/2050-7038.13250.
- [2] B. Subudhi and R. Pradhan, “Adaptive double-integral-sliding-mode-maximum-power-point tracker for a photovoltaic system,” *The Journal of Engineering*, vol. 2015, no. 10, pp. 305–317, Oct. 2015, doi: 10.1049/joe.2015.0125.
- [3] Huaman Ernesto, “Tecnología de bandas transportadoras,” Universidad Nacional de San Agustín, Perú, 2014.

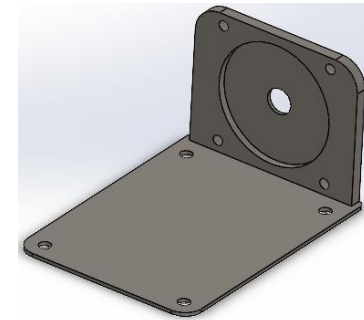
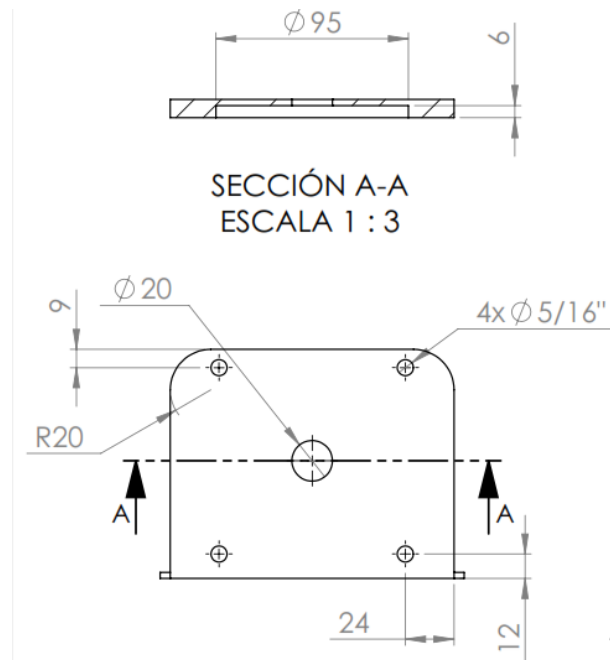


5 Glosario

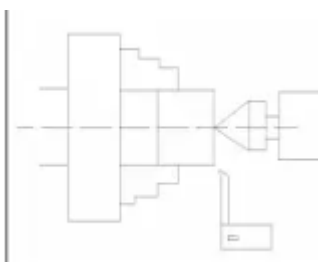

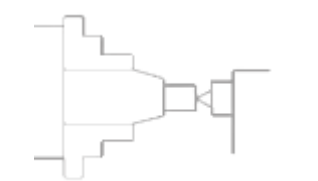
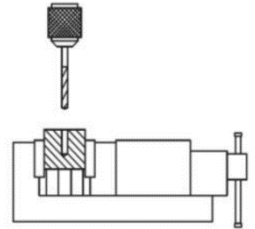
Término	Descripción
HMI	Interfaz Humano – Máquina
PLC	Controlador Lógico Programable
OBS	Software de Radio-emisor Abierto
PROFINET	Red de Campo de Proceso

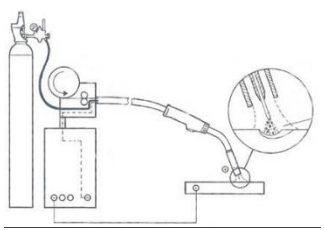
Hoja de procesos pieza 1

Proyecto	"Sistema modular didáctico para prácticas de control de servomotores AC"			Máquina	Torno convencional Siecc LC410	Fecha 11/09/2023
Pieza	Base Servomotor	Plano Nro	SMD-UTN-004	Hoja	1/1	
Material	ASTM A36	Dimensiones en bruto		140 x 110 x 9 mm		
Realizado por	Cristopher Arévalo	Observaciones				



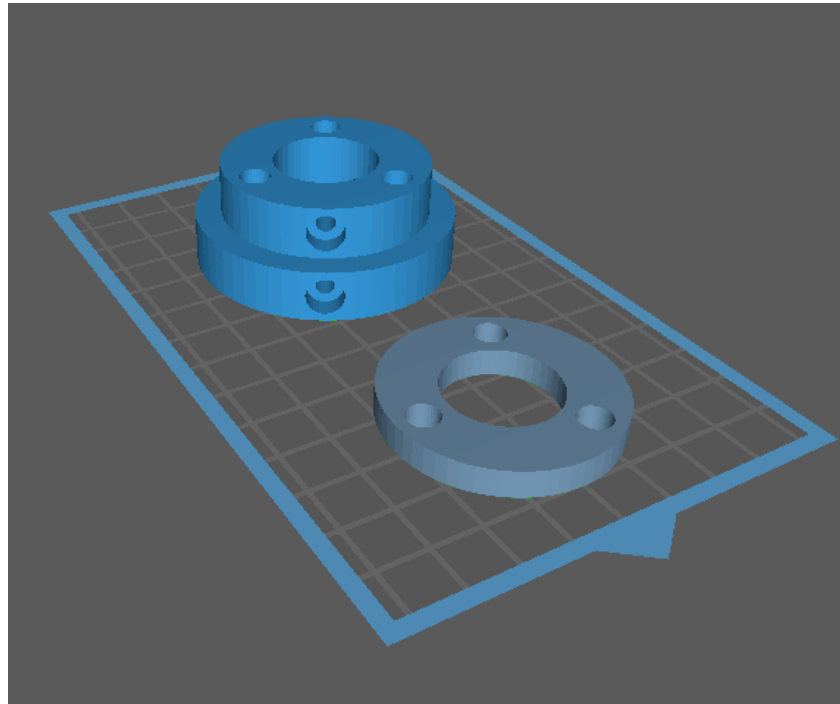
Fase	Operación	Designación	Croquis	Herramienta	N° pasadas	Vcc m/min	n r.p.m	A mm/m	a mm/rev	p mm
------	-----------	-------------	---------	-------------	---------------	--------------	------------	-----------	-------------	---------

Torno	1.1	Montaje de pieza en el mandril de 4 muelas.		Llaves del cabezal	-	-	-	-	-	-
	1.2	Plantar y alinear herramienta y el punto centro.		-	-	-	-	-	-	-
	1.3	Refrentar cara.		CDHHS	1	30	180	18	0,1	1
	2.1	Desbaste de 6 mm de un diámetro de 95mm		CDHHS	20	25	280	70	0,4	0,3
	3.1	Perforación pasante de 20 mm		BC M20	9	30	370	37	0,1	1
Taladro de banco	1.1	Marcar puntos centro y montar en el banco		-	-	-	-	-	-	-
	1.2	4 perforaciones pasantes de 5/16"		BC W 5/16"	9	-	250	30	-	1

Proceso GMAW	1.1	Alineación y montaje de las piezas		Aporte	Calibre	Gas de protección	Amperaje
	1.2	Soldadura		Acero bajo carbono	1,14 mm	CO2	150

Hoja de procesos pieza 2

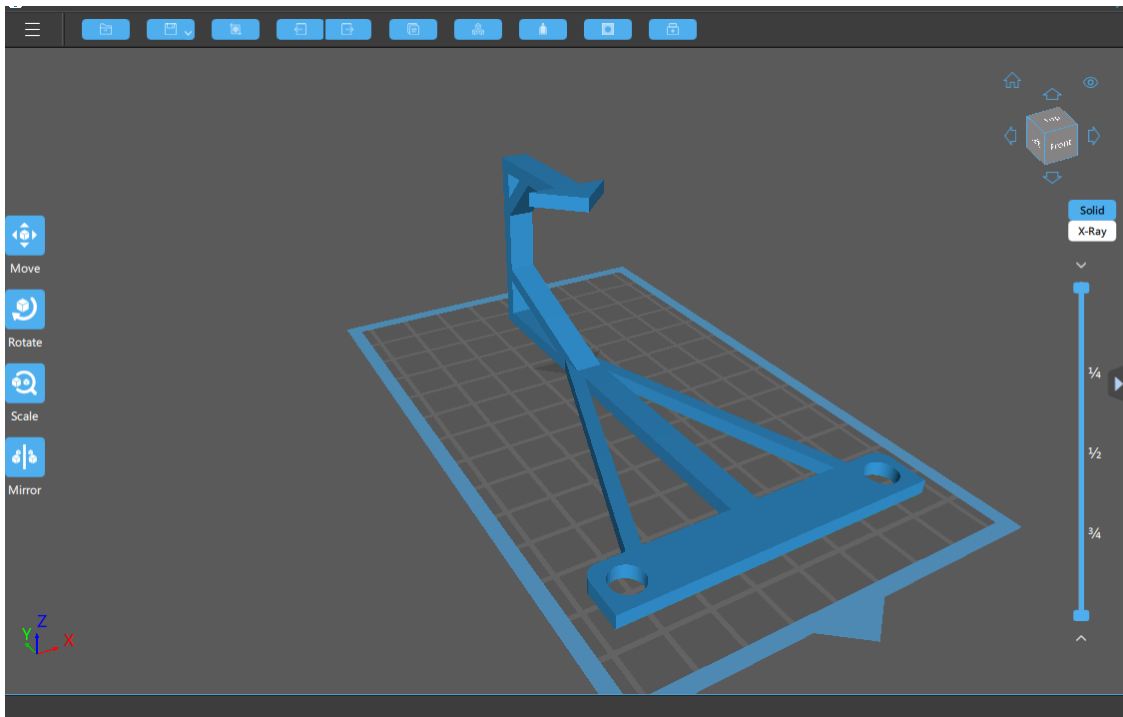
Proyecto	Sistema modular didáctico para prácticas de control de servomotores AC		Máquina	Artillery sidewinder x2	Fecha: 11/09/2023
Pieza	Adaptador radial	Plano Nro	SMD-UTN-005	Hoja	1/1
Material	PETG	Dimensiones en bruto		-	
Realizado por	Cristopher Arévalo	Observaciones			



Altura capa	0,2 mm	Densidad de relleno	40%
Nozzle	0.8 mm	Patrón de relleno	rejilla
Velocidad:	50 mm/s	Densidad de soporte	70%
Temperatura Nozzle:	230 °C	Patrón de soporte	rejilla
Temperatura cama:	70°C	Tiempo	45 min

Hoja de procesos pieza 3

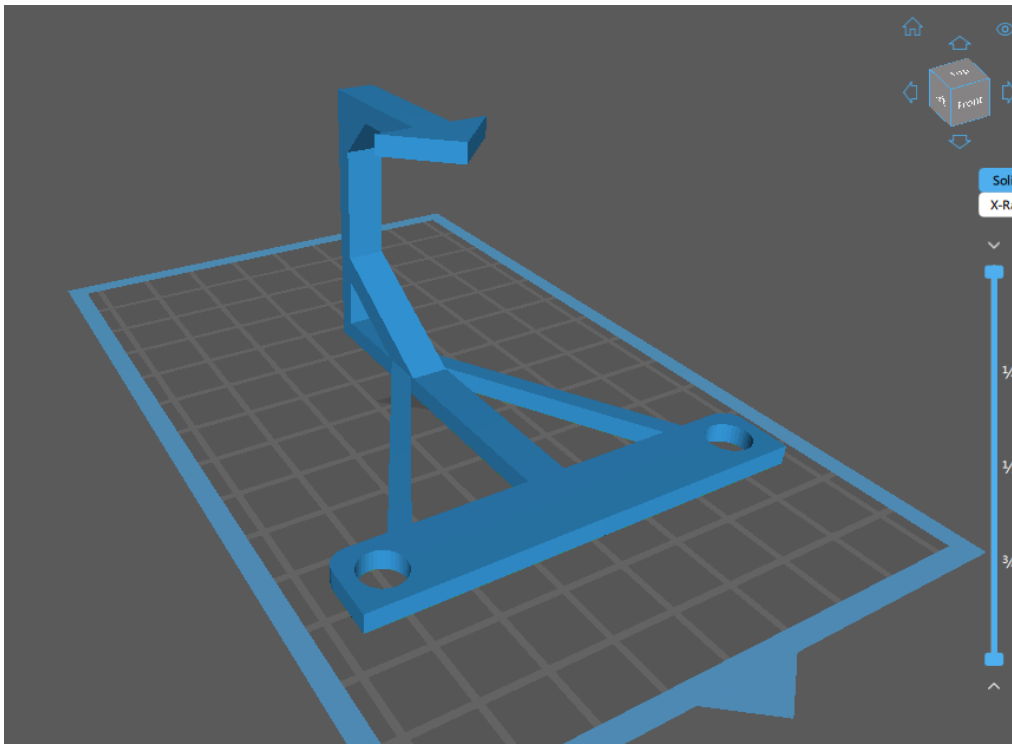
Proyecto	Sistema modular didáctico para prácticas de control de servomotores AC		Máquina	Artillery sidewinder x2	Fecha: 11/09/2023
Pieza	Indicador 1	Plano Nro	SMD-UTN-008	Hoja	1/1
Material	PETG	Dimensiones en bruto		-	
Realizado por	Cristopher Arévalo	Observaciones			



Altura capa	0,2 mm	Densidad de relleno	50%
Nozzle	0.8 mm	Patrón de relleno	rejilla
Velocidad:	30 mm/s	Densidad de soporte	70%
Temperatura Nozzle:	230 °C	Patrón de soporte	Rejilla
Temperatura cama:	70°C	Tiempo	1h 13 min

Hoja de procesos pieza 4

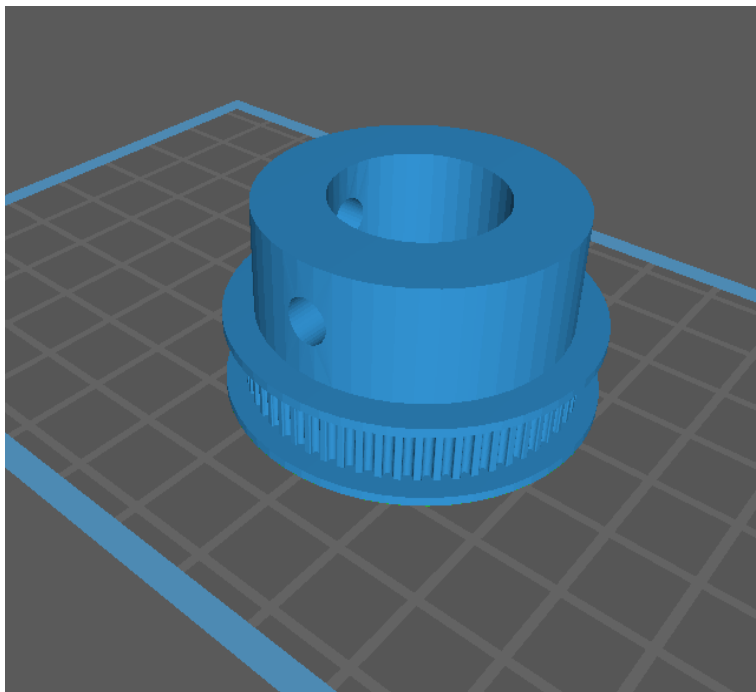
Proyecto	Sistema modular didáctico para prácticas de control de servomotores AC		Máquina	Artillery sidewinder x2	Fecha: 11/09/2023
Pieza	Indicador 2	Plano Nro	SMD-UTN-009	Hoja	1/1
Material	PETG	Dimensiones en bruto		-	
Realizado por	Christopher Arévalo	Observaciones			



Altura capa	0,2 mm	Densidad de relleno	40%
Nozzle	0.8 mm	Patrón de relleno	rejilla
Velocidad:	30 mm/s	Densidad de soporte	70%
Temperatura Nozzle:	230 °C	Patrón de soporte	Rejilla
Temperatura cama:	70°C	Tiempo	1 h 3 min

Hoja de procesos pieza 5

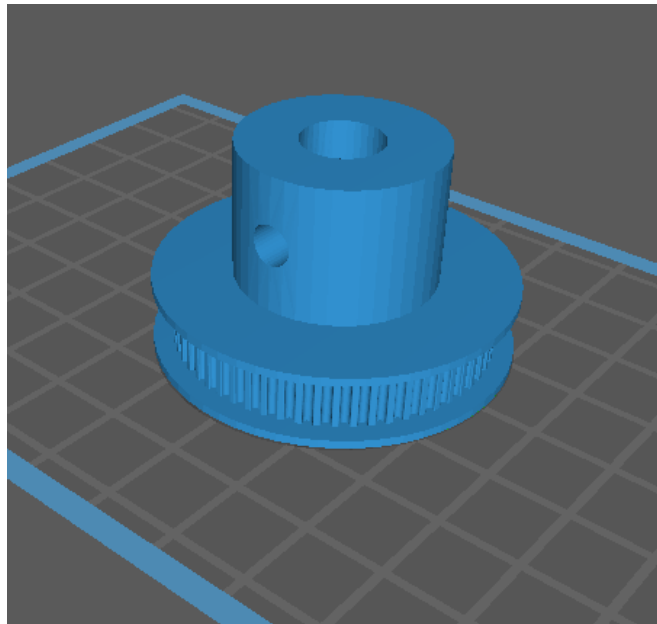
Proyecto	Sistema modular didáctico para prácticas de control de servomotores AC		Máquina	Artillery sidewinder x2	Fecha: 11/09/2023
Pieza	Polea dentada 1	Plano Nro	SMD-UTN-011	Hoja	1/1
Material	PETG	Dimensiones en bruto		-	
Realizado por	Cristopher Arévalo	Observaciones			



Altura capa	0,2 mm	Densidad de relleno	60%
Nozzle	0.8 mm	Patrón de relleno	rejilla
Velocidad:	30 mm/s	Densidad de soporte	70%
Temperatura Nozzle:	230 °C	Patrón de soporte	Rejilla
Temperatura cama:	70°C	Tiempo	32 min

Hoja de procesos pieza 6

Proyecto	Sistema modular didáctico para prácticas de control de servomotores AC		Máquina	Artillery sidewinder x2	Fecha: 11/09/2023
Pieza	Polea dentada 2	Plano Nro	SMD-UTN-012	Hoja	1/1
Material	PETG	Dimensiones en bruto		-	
Realizado por	Cristopher Arévalo	Observaciones			

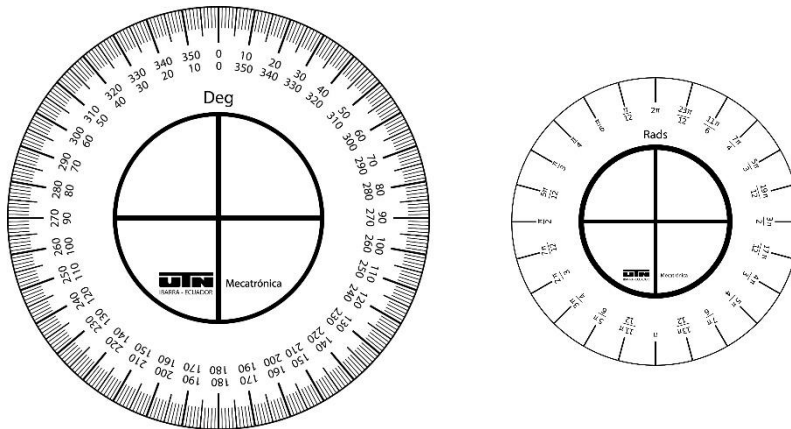


Altura capa	0,2 mm	Densidad de relleno	60%
Nozzle	0.8 mm	Patrón de relleno	rejilla
Velocidad:	30 mm/s	Densidad de soporte	70%
Temperatura Nozzle:	230 °C	Patrón de soporte	Rejilla
Temperatura cama:	70°C	Tiempo	37 min

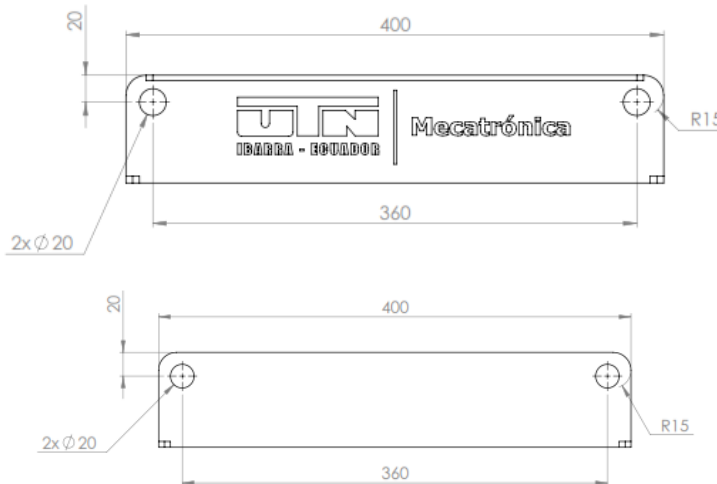
Hoja de procesos pieza 7

Proyecto	Sistema modular didáctico para prácticas de control de servomotores AC	Máquina	GS-1490	Fecha: 11/09/2023
Pieza	Carcasa Banda	Plano Nro	SMD-UTN-010	Hoja 1/1
Material	MDF 9 mm	Dimensiones en bruto		-
Realizado por	Cristopher Arévalo	Observaciones		Descarga de modelos: Modelos grabado láser

Grabado:



Corte:



Potencia del láser:	100 W	
	Corte	Grabado
Potencia:	80 %	40%
Velocidad:	8 mm/min	300 mm/min



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

Entrevista dirigida a estudiantes de la Carrera de Ingeniería en Mecatrónica.

Elaborado por: Cristopher Arévalo

Fecha de aplicación:

1.- Datos del entrevistado:

Nombre:

Nivel:

1.- Objetivo:

- Evaluar el desempeño del “Sistema modular didáctico para prácticas de control de servomotores AC”.

2.- Entrevista:

- 1) ¿Las prácticas de laboratorio estructuradas en la Guía presentada fueron claras y comprensibles?, ¿Cómo el sistema implementado le ayudó a concretar y cumplir los objetivos de cada práctica con facilidad?

- 2) ¿Logró implementar con facilidad las piezas y partes intercambiables del sistema modular didáctico para efecto del desarrollo de las prácticas de laboratorio? ¿y si tuvo alguna complicación, cuál fue?

- 3) ¿Cómo el HMI virtual le ayudó a dar seguimiento a la práctica que estaba ejecutando? ¿Cree que las animaciones incluidas mejoran la didáctica de las prácticas?

- 4) ¿De qué manera las prácticas de laboratorio le ayudaron a comprender la automatización de servosistemas así como sus posibles aplicaciones en la industria?

- 5) ¿Por qué recomendaría el uso de este sistema modular si impartiera docencia (o sería estudiante) en asignaturas como: Servomecanismos, Máquinas eléctricas o Automatización industrial?

Autoriza la aplicación de la misma:

Ing. Cosme Mejía MSc.