



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA

DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE INGENIERÍA EN CONTROL Y
AUTOMATIZACIÓN

**AUTOMATIZACIÓN DE EJES PARA BOBINADOS POR
MEDIO DE DRIVES**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO EN CONTROL Y AUTOMATIZACIÓN

P R E S E N T A N:

GUILLERMO URREA AGUILAR 2005300614



México, D. F.

Agosto de 2010

INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA
UNIDAD PROFESIONAL "ADOLFO LOPEZ MATEOS"

TEMA DE TESIS

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
POR LA OPCION DE TITULACION
DEBERA(N) DESARROLLAR**

**INGENIERO EN CONTROL Y AUTOMATIZACIÓN
TESIS Y EXAMEN ORAL
C. GUILLERMO URREA AGUILAR**

“AUTOMATIZACIÓN DE EJES PARA BOBINADOS POR MEDIO DE DRIVES”

**EVALUAR Y REALIZAR PRUEBAS PARA MÓDULOS DIDÁCTICOS DE SERVO-DRIVE CON EL
FIN DE PROPONER UN MODULO DIDÁCTICO PARA BOBINADO EN LA AUTOMATIZACIÓN DE
DRIVES A TRAVÉS DE UN CONTROL AUTOMATIZADO PROGRAMABLE.**

- **INTRODUCCIÓN**
- **DESCRIPCIÓN DEL MODULO DIDÁCTICO PROPUESTO**
- **ANÁLISIS DE MOVIMIENTO**
- **CONFIGURACIÓN DEL MOVIMIENTO**
- **CONFIGURACIÓN DEL SISTEMA AUTOMÁTICO DE MOVIMIENTO**
- **PROGRAMACIÓN DEL SISTEMA AUTOMÁTICO DE MOVIMIENTO**
- **EVALUACIÓN ECONÓMICA**

MÉXICO D.F. A 04 DE AGOSTO DE 2010

ASESORES


M. EN C. PEDRO FRANCISCO HUERTA GONZALEZ


M. EN C. IVONE CECILIA TORRES RODRÍGUEZ


M. EN C. JOSÉ ÁNGEL MEJÍA DOMÍNGUEZ
JEFE DEL DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE
INGENIERÍA EN COMUNICACIONES Y ELECTRONICA



Agradecimientos

Le agradezco a dios la oportunidad, que me dio al permitirme dar este pequeño paso hacia un gran sueño, llenándome de esperanzas y fuerza cada día de mi vida, mostrándome un futuro lleno de sueños y esperanzas que se que juncos podremos alcanzar.

Le doy las gracias a este pequeño país, que hoy es la más grade nación, con un pueblo único capaz de sembrar la semilla que el día de mañana todos juntos cosecharemos para dar vida un México de grandeza.

Le doy las gracias al IPN por darme la oportunidad de desarrollándome en todos los aspectos de mi vida, por mostrarme el mundo como en realidad es y principalmente por abrirme las puertas a un futuro lleno de aventuras y retos profesionales.

Le doy las gracias a todos mis compañeros, amigos y profesores que siempre estuvieron en los problemas, en las celebraciones en los desvelos y en las madrugadas, por que se que hoy juntos podremos forjarnos un mejor mundo para vivir.

Le doy las gracias a toda mi familia que siempre estuvo en las buenas y las malas para apoyarme y guiarme con consejos sabios y desinteresados, pero principal mente le doy la gracias al más grade de mis maestros “mi abuelo”.

A mi madre, a mi padre y a mi hermano, les agradezco la paciencia y el apoyo que me brindaron a lo largo de esos momentos de locura y rabia, y sé que hoy he llegado alto porque me apoyo en los hombros de gigantes.

Esta tesis está dedicada a mi abuela que siempre me vio como un hijo, esa Mechita que medio todo lo que tenia sin esperar nada a cambio, esa Mechita a la que no pude llevarle la buena noticia, a esa Mechita que siempre estuvo orgullosa de sus nietos, ase Mechita que admiro, resto y amo con todo mi corazón.

**ÍNDICE**

		PAGINA
	Índice	III
	Glosario Técnico, Abreviaturas y Siglas	VII
	Objetivo General	VIII
	Objetivos específicos	IX
	Introducción	X
Capítulo 1	Descripción del trabajo a desarrollar	1
1.1	Delimitación geográfica del proyecto	2
1.2	Antecedentes del problema a resolver	2
1.3	Estudio del problema a resolver	4
1.4	Análisis y alcance de la solución propuesta	4
1.5	Justificación del proyecto	5
Capítulo 2	Control de movimiento	8
2.1	Servo Accionamientos	9
	- Tipos de movimiento	10
	- Perfiles de movimiento	11
2.2	Descripción del sistema de servo-drive	13
	- Transmisión mecánica	14
	• Mecanismo de tornillo	14
	• Husillo	15
	- Sensores	15
	• Encoders ópticos	15
	- Servo-accionamiento	18
	• Motor	18
	• Servomotores	18
	• Servomotores brushless	19
2.3	Descripción del sistema de drive	20
	- Motores CA.	20
2.4	Descripción del sistema de control	22
	- Tipos de controladores	22
	- Sistema de control centralizado	23



-	Controlador lógico programable PLC	23
-	Controlador Automatizado programable PAC	24
-	Comunicaciones y medios de transmisión	25
-	Comunicaciones basadas en fibra óptica	25
-	Comunicación basada en par trenzado	26
-	Protocolos de comunicación	26
-	Lenguajes de programación	27
-	Lenguajes de programación en escalera	27
-	Lenguajes de programación a bloques funcionales	27
CAPITULO 3	Descripción del modulo didáctico propuesto	30
3.1	Descripción del proceso de bobinado propuesto	31
-	Descripción del mecanismo para el modulo didáctico propuesto	31
-	Descripción y selección del sistema de control para el sistema de bobinado propuesto	31
-	Cuervas de comportamiento del sistema de bobinado	32
3.2	Diseño mecánico y eléctrico para el modulo didáctico	34
-	Conceptualización y selección mecánica	34
-	Análisis de los sistemas eléctricos y mecánicos	35
-	Análisis eléctrico para el sistema de guía	35
-	Análisis mecánico del sistema de guía	36
-	Análisis eléctrico del sistema de carrete	38
-	Análisis mecánico del sistema de carrete	39
-	Cálculos para el bobinado o enrollado	41
3.3	Descripción de la aplicación del modulo didáctico propuesto	43
CAPITULO 4	Análisis de movimiento	46
4.1	Software de control de movimiento para servo drives	46



	- Kinetix2000	46
	- Servomotores MP-Series de baja inercia	47
	- Selección de la aplicación adecuada	47
4.2	Simulación del control de movimiento para servo-accionamiento	48
4.3	Software de control de movimiento para drives	57
	- PowerFlex40	57
CAPITULO 5	Configuración del sistema de control de movimiento	59
5.1	Software de configuración y redes	59
	- RSLinx	59
	- Ethernet	59
	- DeviceNet	59
	- Networks for DeviceNet	60
	- SERCOS	61
	- RSlogix5000	61
5.2	Pruebas y conexiones de los sistemas de drives y control	62
5.3	Instalación del firmware del controlador	63
5.4	Configuración de RSLinx	63
5.5	Configuración de la red DeviceNet	66
5.6	Configuración del sistema RSLinx5000	69
5.7	Configuración de la red SERCOS	70
CAPITULO 6	Programación del sistema de control de movimiento	75
6.1	Creación del proyecto de sincronización de ejes	75
6.2	Programación y distribución general	78
6.3	Programación del drive PowerFlex40	78
6.4	Programación del servo-drive Kinetix 2000	80
6.5	Programación de la sincronización de ejes	81
6.6	Técnica de control propuesta para el modulo de bobinado	82
CAPITULO 7	Evaluación económica	86
7.1	Generalidades	86
7.2	Evaluación económica del modulo didáctico	88
	- Costo del modulo didáctico para el caso 1	87



	- Costo del modulo didáctico para el caso 2	94
7.3	Comparación económica entre el desarrollo interno y la adquisición del equipo a la empresa AB	95
	Conclusiones	98
	Recomendaciones	99
	Fuentes de información	101
	Anexos	103
	Metodología	104
	Cronograma de actividades	105
	Anexo1 “Diseños para el modulo didáctico”	106
	Anexo 2 “Diagramas eléctricos de conexión”	107



Glosario técnico, abreviaturas y siglas

Sincronización de ejes: consiste en el movimiento de uno o más ejes (esclavos) en función del movimiento de otro (Maestro).

Control de movimiento: Es el conjunto de aplicaciones cuyo funcionamiento se basa en la sincronización entre dos o más ejes

Mecanismo: Un mecanismo es un dispositivo que transforma un movimiento y una fuerza de entrada en otra de salida.

Sistema de Control: Este está definido como un conjunto de componentes que pueden regular su propia conducta o la de otro sistema con el fin de lograr un funcionamiento predeterminado, de modo que se reduzcan las probabilidades de fallos y se obtengan los resultados buscados

Módulo: Un módulo es un componente auto controlado de un sistema, el cual posee un interfaz definida hacia otros componente. Algo es modular si es construido de manera tal que se facilite su ensamblaje, acomodamiento flexible y fácil reparación de sus componentes.

Didáctico: es la disciplina científico pedagógico que tiene como objetivo la enseñanza, esto quiere decir, que la didáctica se puede entender como técnica o ciencia aplicada y como teoría o ciencia básica de la instrucción, educación o formación.

Drive: Controlador de velocidad, variador de frecuencia.

CNC ó NC-Control: Control numérico

PAC: Control Automático Programable

PLC: Control lógico programable

AB: Allen Bradley

RA: Rockwell Automation

MAS: Motion Analyzer Software

IPN: Instituto Politécnico Nacional

ESIME: Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica (Z: Zacatendo)

ICA: Ingeniería en Control y Automatización



OBJETIVO GENERAL

Evaluar y realizar pruebas para los módulos didácticos de Servo-Drive y Drive con el fin de proponer un módulo didáctico para bobinado basado en la sincronización de Drives a través de un Control Automatizado Programable.



OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Evaluar los módulos didácticos de Servo-Drive y Drive con el fin de revisar el cumplimiento de las especificaciones de instalación y operación para realizar la puesta en marcha de dichos módulos.
- Diseñar los diagramas de conexiones para instalar, conectar y probar las interconexiones de los diferentes módulos didácticos de prueba para Drives.
- Proponer una aplicación real para el control de movimiento y sincronización de ejes, dicha aplicación se evaluará para hacer recomendaciones basadas en el análisis de los perfiles de movimiento de motores y características de los mecanismos propuestos para la aplicación de bobinado.
- Programar y configurar cada uno de los Drives y redes de comunicación requeridas por el módulo didáctico.
- Programar y configurar el PAC en forma general para implementar el control de movimiento y sincronización de ejes con el objetivo de analizar en forma específica cada sección de la programación.
- Desarrollar tablas resumen con las características del equipo eléctrico y mecánicos propuesto para el módulo didáctico.
- Generar tablas para el análisis de la evaluación económica, del módulo didáctico basadas en la comparación económica de ingeniería propia contra ingeniería externa a realizar.



INTRODUCCIÓN

En el presente trabajo se describen una serie de actividades enfocadas al desarrollo y conocimiento para la puesta en marcha, sincronización de ejes para Drives y propuesta de una aplicación real como lo es el modulo didáctico para bobinado.

En el primer capítulo se describen las motivaciones y justificaciones para el desarrollo de la puesta en marcha de drives, sincronización de ejes y desarrollo de un modulo didáctico para bobinado.

En el segundo capítulo se desglosan los principales conceptos que se deben conocer para llevar a cabo, la puesta en marcha de drives, sincronización de ejes, y propuesta de modulo didáctico para bobinado.

En el tercer capítulo se describe la propuesta para la construcción de un módulo didáctico capaz de demostrar la sincronización de ejes, enfocado a una bobinadora de Hilo o alambre y se desarrollan tablas resumen con las características del equipo eléctrico y mecánico propuesto.

El cuarto capítulo hace una análisis de los perfiles de movimiento para los motores que integran el modulo didáctico, dichos perfiles están enfocados en la evaluación de los sistemas de drives y los mecanismos propuestos en el tercer capítulo.

En el quinto capítulo se describe de manera general, la puesta en marcha de drives y la configuración de los protocolos usados para la interconexión de Drives, los cuales son DeviceNet, SERCOS y Ethernet propuestos como redes de comunicación para el modulo didáctico.

En el sexto capítulo se describe de manera general la programación propuesta para el control de los Drives y la sincronización de ejes, por medio del programa RsLogix5000.

En el séptimo capítulo se hace una evaluación económica, con el fin de evaluar el desarrollo del modulo didáctico propuesto, o la adquisición de un equipo a alguna empresa como AB.

Por último se enuncian las conclusiones del proyecto y las recomendaciones para el desarrollo de un modulo didáctico funcional y explicativo.

Descripción del trabajo a desarrollar

En el presente capítulo se da una explicación que justifica la puesta en marcha de los módulos de Drives y sincronización de ejes por medio de Servo-Drive y Drive, controlados a través de un Control Automatizado Programable y la propuesta de un modulo didáctico de bobinado, así como también se observan las principales características del alcance y antecedentes históricos del proyecto

CAPÍTULO 1. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO A DESARROLLAR

Este trabajo está enfocado en la puesta en marcha de drives y sincronización de ejes por medio de Servo-Drive y Drive, controlados a través de un Control Automatizado Programable. La sincronización de los Drives se basa en el análisis y diseño interdisciplinario, debido a que los sistemas eléctricos y mecánicos son dependientes de sí, para la construcción de un prototipo, capaz de demostrar la sincronización de ejes. La configuración y sincronización de ejes para Drives se divide en el diseño, conexión, configuración y pruebas de módulos didácticos de Drives, por otra parte el módulo didáctico se dividirá en la configuración de los Drives y redes comunicación y por último en la programación del PAC. Es importante mencionar que el módulo didáctico propuesto se dividirá en dos sistemas generales los cuales son; Sistema mecánico (sistema que se encuentra en movimiento y demuestra la aplicación) y Sistema eléctrico (Sistema que proporciona el movimiento, sincronización y comunicación al sistema mecánico).

1.1 Delimitación geográfica del proyecto

El proyecto de tesis será implementado en los laboratorios de pesados 1 de la carrera de Ingeniería en Control y Automatización, los cuales se encuentran ubicados dentro de la unidad profesional Adolfo López Mateos en la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica unidad Zacatenco véase figura 1.1.



Figura 1. 1 Unidad profesional Adolfo López Mateos

1.2 Antecedentes del problema a resolver

En los 4 años anteriores la carrera de ICA, principalmente la especialidad de manipuladores industriales ha requerido el desarrollo de maquetas didácticas para demostrar la aplicación de “sincronización de ejes para Motores-servomotores”. Para la realización de estas maquetas didácticas el Instituto Politécnico Nacional se vio en la necesidad de adquirir equipo de control que pudiera ser ocupado para la implementación de módulos didácticos, por esa razón en el año 2008 el jefe de la carrera de ICA y el



director de ESIMEZ solicitaron al presente jefe del área de electrónica que desarrollara un propuesta para la adquisición de equipos nuevos. Con esto se inicio un equipo de trabajo encargado de la selección y cotización de equipos para la implementación de dichos módulos didácticos. Este equipo de trabajo se encargo de analizar, comparar y proponer diferentes tipos de soluciones, arrojando como resultado, dos proyectos de tesis en el mes de Noviembre del año 2008, donde se trataron los temas de: “Integración de la etapa de control del un modulo didáctico aplicado al control de movimiento” y “Configuración del modulo de control de servomotores para la aplicación de sincronización de ejes” elaborados por los antes alumnos de IPN hoy ingenieros egresados de la carrera de ICA, Ing. Rojas Martínez Marco Antonio e Ing. Herrera García José Alberto, en dichos proyectos se desarrollo y sustento la adquisición de los equipos nuevos y su viabilidad. Como resultado a la dedicación y buen trabajo del equipo de alumnos, los evaluadores de la propuesta aprobaron el presupuesto para la adquisición de nuevos equipos de control que puedan llevar a cabo la sincronización de ejes.

Hoy en día los equipos didácticos del sistema de control, potencia y comunicaciones para drives están instalados en su totalidad, pero sin haber sido probados ó tener una aplicación que demuestre su gran potencialidad. Es por ello que en el año 2009, los alumnos de la carrera de ICA viendo esta deficiencia se aventuraron con ayuda del profesorado en el diseño de módulos didácticos que pudieran demostrar la sincronización de ejes en forma integral, y con ello surgieron diferentes proyectos los cuales fueron evaluados, para determinar cuáles serian los más aptos para, poner en marcha los módulos didácticos para Drives y pudieran demostrar la sincronización de ejes, uno de esos proyectos resulto en “CONFIGURACIÓN Y SINCRONIZACIÓN DE EJES PARA BOBINADO POR MEDIO DE DRIVES”

El objetivo de esta tesis es poner en marcha los módulos didácticos para Drives y proponer una aplicación real para sincronización de ejes por medio de un PAC y como puntos adicionales dar entender la potencialidad del control de movimiento, brindar las bases para futuros proyectos referentes al control de movimiento y mostrar la gran importancia que tendrá en los siguientes años.

Hoy en día en el mercado, la oferta de Drives es muy extensa. Cubren toda clase de marcas, funciones y normas, Sin embargo es muy común que todos tengan funciones similares y configuraciones parecidas, es por ello que en el presente trabajo solo se habla de Drives de la marca AB, como base de ejemplo para la configuración de cualquier otra marca (Ver Figura 1.2).



Figura 1. 2 Diferentes tipos de Drives y Servomotores

1.3 Estudio del problema a resolver

La existencia de equipos didácticos de drives para realizar prácticas de laboratorio en la carrera de Ingeniería en Control y Automatización del Instituto Politécnico Nacional es limitada o en su defecto no se encuentran en operación. Los encargados de la carrera de ICA se han visto en la necesidad de adquirir equipos usados de las empresas en las que algunos profesores de la carrera laboran, estos equipos normalmente son adquiridos en malas condiciones, y además no todos cumplen con la características de un modulo didáctico, y por otra parte los que se encuentran en operación no son para la demostración de sincronización de ejes.

Muchos de los módulos didácticos para control de movimiento existentes en el mercado son diseñados por las empresas proveedoras de este tipo de sistemas para su propio uso con fines de capacitación, que se ofrecen dentro de la misma empresa o en otras que lo requieran. Por lo que es casi imposible que el IPN adquiera un modulo con estas características. Estas son las razones por las cuales se requiere elaborar módulos didácticos que cumpla con las mismas características que uno en el mercado, con la diferencia de que dichos módulos sean desarrollados e implementados por alumnos del IPN.

1.4 Análisis y Alcance de la solución propuesta

Debido a que el modulo didáctico integrará el control de movimiento para motores eléctrico y servomotores a través de un Control Automatizado Programable, y posteriormente se propone una integración a un sistema mecánico que demuestre la aplicación de la sincronización de ejes. Se propone el desarrollo de un módulo

didáctico que pueda ser usado como material de apoyo dentro de las prácticas de laboratorio de la carrera de Ingeniería en Control y Automatización, que esté relacionado con las asignaturas del área de control y electrónica, como lo es control de proceso y manipuladores industriales. La figura 1.3 muestra el diagrama general del modulo didáctico que se propone.

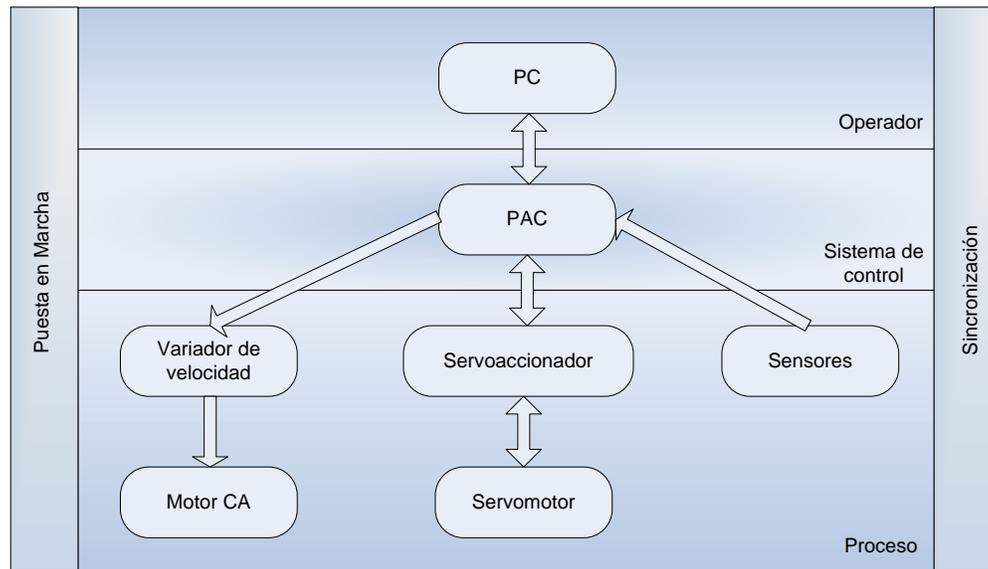


Figura 1. 3 Diagrama general de modulo didáctico

Por ello es necesario configurar y desarrollar unos módulos didácticos que demuestre la aplicación de la sincronización de ejes de movimiento.

La propuesta que en este trabajo se hace es la de poner en marcha los módulos didácticos para drives, con el fin de proponer un modulo didáctico para bobinado basado en la sincronización de drives a través de un control automatizado programable.

1.5 Justificación del proyecto

En la actualidad el control de movimiento ha evolucionado de manera importante, ya que la demanda de productos en masa por parte de la sociedad se ha incrementado de manera considerable, y con ello ha surgido la necesidad de desarrollar nuevos métodos de producción los cuales deben de ser más eficientes y versátiles, y además dichos productos deben cumplir con los estándares de calidad requeridos para su construcción e implementación, un ejemplo de ello es el sistema de bobinado automatizado.

Actualmente la mayor parte de la industria global está mejorando los métodos de producción con la implementación de nuevas tecnologías, que hacen más eficientes los procesos de producción, mejoran la calidad, reducen los tiempos y generan mayores rendimientos. Una de las principales tecnologías utilizadas en el control de procesos es mediante el uso de PACs, que son capaces de controlar diferentes variables en los procesos de producción, brindando gran exactitud y confiabilidad.



Uno de los motivos por los que los alumnos no cumplen con una formación integral y adecuada en el transcurso de sus estudios, se debe principalmente a la falta de interés en las materias del ramo, que es generada por falta de demostraciones físicas que le ayuden a comprender los temas expuestos.

Es por ello que el Instituto Politécnico Nacional en su afán de impartir clases de calidad con las más revolucionarias tecnologías se ve en la necesidad de desarrollar módulos didácticos que ayuden a los alumnos en el proceso de aprendizaje.

Los módulos de aprendizaje deben construirse para la demostración de las aplicaciones más comunes que hay en la industria, como también deberán tener manuales y diagramas que estén sujetos a los planes de estudio actuales del IPN, dichos módulos serán diseñados de forma económica, con ingeniería propia de la institución y con materiales que se encuentren en el mercado.

En el presente capítulo se han expuesto las principales razones que han motivado el desarrollo del proyecto, como también los alcances que el mismo pretenden alcanzar en una área de trabajo determinada para el estudio, también se muestra un análisis y justificación sobre el proyecto. Todo lo anterior tiene por objetivo dar a conocer el problema actual que se vive en ESIMEZ, por lo que en el siguiente capítulo se profundizará en los aspectos teóricos necesarios para comprender la solución expuesta a lo largo del trabajo.

Cap.2

Control de Movimiento

En el presente capítulo se da una breve explicación de los principales conceptos que se requieren para entender el control de movimiento y las bases teóricas para la configuración y sincronización de ejes para una bobinadora por medio de Drives. La unidad está dividida de acuerdo a los sistemas de Control, Drive y Servo-Drive.



CAPÍTULO 2. CONTROL DE MOVIMIENTO [3]

La sincronización entre ejes consiste en el movimiento de uno o más ejes en función del movimiento de otro.

Se suele llamar control de movimiento (Motion control) al conjunto de aplicaciones cuyo funcionamiento se basa en la sincronización de dos o más ejes, con aplicaciones en eje eléctrico (Seguimiento de accionamiento respecto a otro, con una determinada razón de cambio) y leva electrónica (Los ejes se sitúan en una determinada posición en función a eje maestro).

Para entender el funcionamiento de los modulo didácticos para el control de movimiento, es necesario comprender el significado de control de movimiento, tipos de movimiento y perfiles de movimiento. Como también cada parte que integra a Drives.

- Un sistema de control de movimiento con Servo-Drives consiste de cinco componentes principales:
 - Dispositivo mecánico que se haya en movimiento (mecanismos)
 - El Servomotor (Brushless o por pasos) con retroalimentación y E/S de movimiento.
 - El amplificador
 - El control inteligente
 - Software de interfaz de programación/operación

Donde los tres primeros componentes conforman al servoaccionamiento y los dos últimos forman parte del sistema de control.

- Un sistema de control de movimiento con Drives consiste de cinco componentes principales:
 - Dispositivo mecánico que se haya en movimiento (mecanismos)
 - El motor (Jaula de Ardilla o Rotor devanado) sin retro alimentación.
 - El amplificador
 - El control inteligente
 - Software de interfaz de programación/operación
 - Un encoder externo para obtener la retro alimentación con que no cuenta el drive.

Donde los tres primeros componentes conforman al accionamiento y los dos últimos forman parte del sistema de control.

2.1 Servo accionamientos [3]

Los servo accionamientos tiene principalmente tareas de posicionamiento como por ejemplo en maquinas herramientas, robótica industrial y armado automático. Estos son dispositivos con la ventaja de tener; un tiempo definido para el desplazamiento a lo largo de una ruta y con la indicación de una posición final precisa. Con estos se obtienen posiciones exactas en una dinámica de grandes exigencias. Las principales características de los servo sistemas son:

- Gran rango de Revoluciones por minuto (0.01 hasta 10000 m^{-1})
- Buenas propiedades de rotación para todas las revoluciones
- Gran torque (Par de arranque hasta 500Nm)
- Gran dinámica (Pico de torque hasta $6M_0$)
- Alta capacidad de sobre carga en poco tiempo
- Amplia protección en los motores
- Potencia nominal aproximadamente de 100W hasta 20kW
- Alta exactitud en posicionamiento y repetitibilidad

Como se observan en la figura 2.1, un servo accionamiento consta por regla general de:

- Punto de consigna (Automatización por computadora por ejemplo NC- control)
- Regulador (Regulador de corriente, regulador de posición regulador de Torque)
- Estación de energía (Rendimiento en cada parte, convertidor, rendimiento de los semiconductores).
- Convertidor de energía (Motor); motor de corriente continua, motor síncrono, motor asíncrono, motor a pasos.
- Sistema de medición respectivamente empleados por el sistema (por ejemplo taco-generator, encoder y resolver).

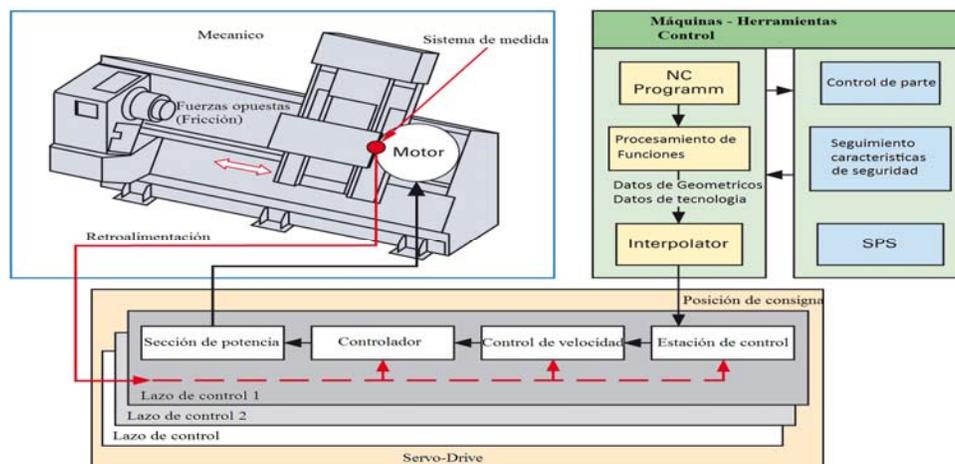


Figura 2. 1 Diagrama general para un servoaccionamiento [3]

Los componentes antes mencionados se acoplan con elementos de transmisión mecánicos, como mecanismos (Rotatorios o lineales) en un sistema muy fino, estos elementos son considerados como una unidad (la figura 2.2 muestra un diagrama a bloques de un servoaccionamiento como unidad).

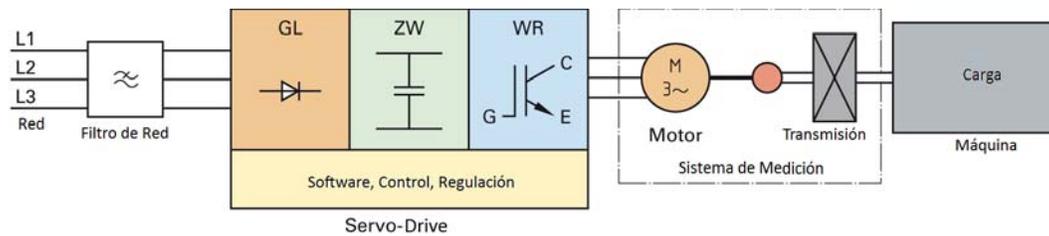


Figura 2. 2 Diagrama a bloques de un servoaccionamiento [3]

El servo convertidor es un factor determinante para la calidad en los servo accionamientos. Este toma como base el software para compensar las deficiencias en los servomotores (Movimiento rotatorio) y en los sistemas mecánicos de transmisión (Desviación en la localización). Los servo motores pueden ser de tipo Asíncronos, imán permanente síncronos, sin escobillas de corriente directa, imanes permanentes de corriente directa, brushless CA y motores a pasos.

La exactitud de los servo sistemas es dependiente de los sistemas mecánicos y electrónicos (Figura 2.3). Los servo accionamientos trabajan con mayor exactitud, si la precisión de la retroalimentación de la maquina es exacta por ejemplo, la posición del recorrido es detectada por los sensores (sensores incrementales y revolvers etc.), ya que por ejemplo para robots o máquinas herramientas el movimiento de dichas máquinas debe ser frenado con precisión.

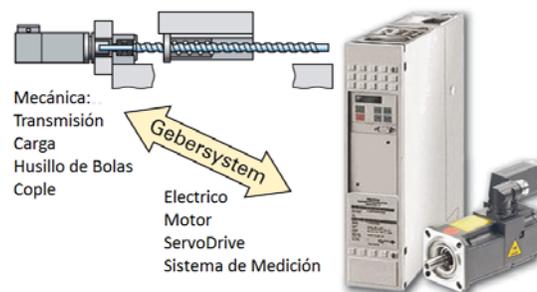


Figura 2. 3 Dispositivos mecánicos y electrónicos [3]

Tipos de movimiento [8.9]

Hay dos tipos de movimientos: movimiento rotatorio a rotatorio y de movimiento rotatorio a lineal o rectilíneo (o viceversa), por ejemplo un sistema de poleas realiza el

movimiento rotatorio a rotatorio ya que al rotar una (motriz) traduce el movimiento a la otra (conducida) y hace que rote, y un ejemplo de movimiento rotatorio a rectilíneo es un sistema como el que se implementará en el módulo didáctico, donde el movimiento rotatorio aplicado por el motor es transmitido a un husillo el cual a través de una guía lo convierte en movimiento rectilíneo (Véase figura 2.4 y 2.5).

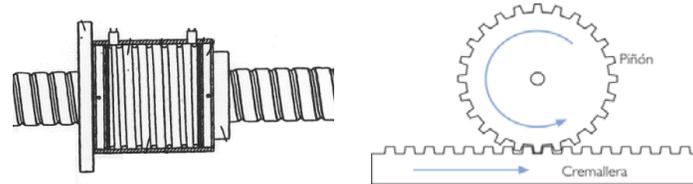


Figura 2.4 y 2.4 Movimiento rotatorio a lineal

Perfiles de movimiento

En el control de movimiento, una necesidad común es mover un sistema desde una posición inicial hasta otra (punto a punto de movimiento). Siguiendo el movimiento más rápido posible, con un valor máximo permitido de velocidad, aceleración y torque.

Para muchas aplicaciones, entre ellas la automatización médica, instrumentación científica, y muchos tipos de automatización en general, el movimiento punto a punto, es frecuentemente más usado que cualquier otro perfil de movimiento.

El movimiento punto a punto significa que desde un estado en reposo, la carga es acelerada a una velocidad constante, y después, desacelerada tal como la última aceleración, y la velocidad es cero cuando la carga llega a su destino programado.

Los dos perfiles usados para el movimiento punto a punto son el perfil de curva-S, y su primo más cercano; el perfil trapezoidal. Estos dos perfiles se muestran en la figura 2.6.

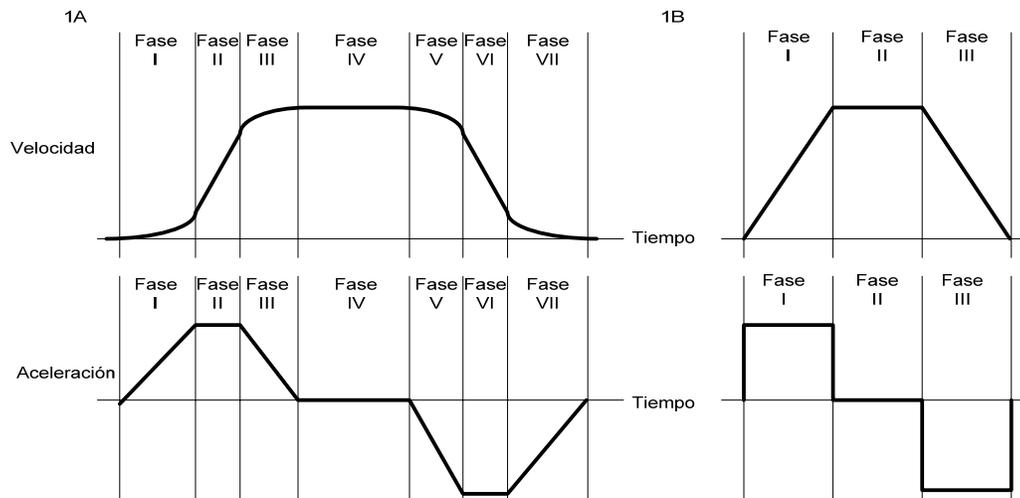


Figura 2. 5 Perfiles de movimiento trapezoidal y de S

En el contexto de un movimiento punto a punto, una curva compleja S está formada por 7 distintas fases de movimiento. La fase I comienza moviendo la carga desde el reposo con una aceleración lineal e incremental hasta que esta alcanza la máxima aceleración máxima. En la fase II el perfil acelera a su máxima aceleración hasta que este debe de comenzar a desacelerar para alcanzar la máxima velocidad. Esto ocurre en la fase III cuando la aceleración se reduce linealmente hasta que alcanza el valor de cero. En la fase IV la velocidad es constante hasta que la desaceleración comienza, en el punto en el cual los perfiles desaceleran en una manera simétrica a las fases I, II, III, tal y como se ve en la figura 2.6.

Por otro lado el perfil trapezoidal tiene tres fases. Este perfil es un subconjunto de un perfil de la curva-S. Teniendo solo las fases correspondientes al II perfil de la curva-S (aceleración constante), IV (Velocidad constante), VI (Desaceleración constante). Esto reduce el número de fases, explicando las diferencias entre estos dos perfiles: el perfil de la curva-S tienen algunas fases extra de movimiento, las cuales, son la transición entre los periodos de aceleración, y los periodos de no-aceleración. El perfil trapezoidal tiene transiciones instantáneas entre estas fases. Esto se puede observar en las gráficas correspondientes de la velocidad de la figura 2.7.

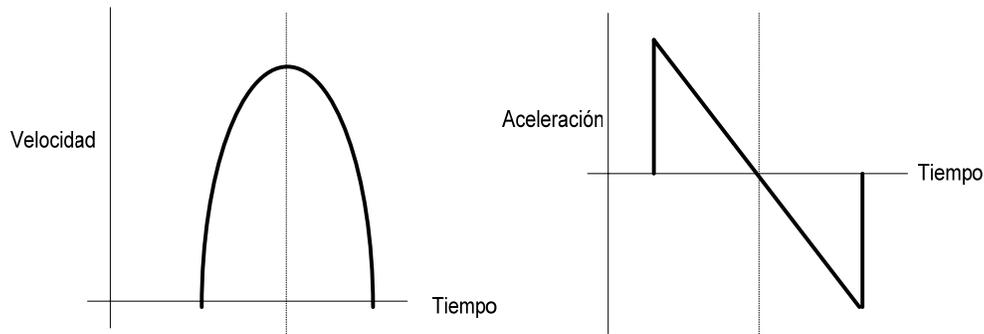


Figura 2. 6 Transiciones para los perfiles de movimiento

Las característica que define el cambio en aceleración, o periodo transitivo, es conocida como “Jerk”. Jerk es definido como la velocidad de cambio de la aceleración con el tiempo.

La meta de cualquier perfil es acercar las características de movimiento de un sistema a la aplicación deseada. Los perfiles de movimiento de la curva-S y trapezoidal trabajan bien cuando la curva de respuesta del torque del sistema de movimiento es bastante lineal. En otras palabras, cuando el torque de salida no varía mucho sobre el rango de velocidades el sistema será experimental.

2.2 Descripción del sistema de servo-drive

Debido a su gran confiabilidad y su alta precisión los Servo-Mecanismos son los dispositivos mejor adaptados para seguir perfiles de comportamiento, de altas demandas de velocidad y exactitud. Debido a que se pueden conectar a dispositivos mecánicos como; engranes, poleas, husillos y piñones, que tienen como objetivo brindar movimientos con rangos de error muy pequeños a altas velocidades en diferentes tipos de movimientos, los hace excelentes para la reducción de costos de partes mecánicas que requieren alta precisión.

Cabe señalar que dentro de los Servomecanismos los motores mas utilizados son los Motores Brushless y A Pasos, donde cada uno puede ser ocupado para diferentes tipos de aplicación según las características del proceso en el que se implementara.

Analizando las curvas de comportamiento para los motores a paso se observa que no cuentan con curvas de torque/velocidad lineales. Es por ello que no son recomendables para servosistemas de alta precisión como en el caso del modulo didáctico propuesto. En la figura 2.8 podemos apreciar la diferencia entre los motores Brushless y motores a pasos.

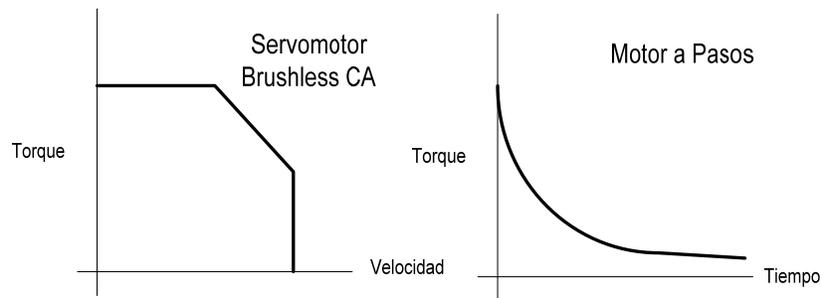


Figura 2. 7 Curvas de comportamiento para motores

Transmisión mecánica [3]

Se denomina transmisión mecánica a un mecanismo en cargado de transmitir potencia entre dos o más elementos dentro de una maquina. Son parte fundamental de los elementos u órganos de una maquina, muchas veces clasificados como un subgrupo fundamental de los elementos de transmisión y elementos de sujeción.

En la gran mayoría de los casos, estas transmisiones se realizan a través de elementos rotantes, ya que la transmisión de energía por rotación ocupa menos espacio que aquella por translación.

Una transmisión mecánica es una forma de intercambiar energía mecánica distinta a las trasmisiones neumáticas o hidráulicas, ya que para ejercer su función emplea el movimiento de cuerpos sólidos, como lo son los engranajes, husillos y cajas de trasmisión. Típicamente, la trasmisión cambia la velocidad de rotación de un eje de entrada, lo que resulta en una velocidad de salida diferente (Véase figura 2.9).

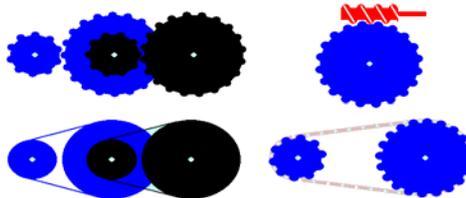


Figura 2. 8 Diferentes tipos de transmisiones

Mecanismo de tornillo

El mecanismo de tornillo transforma el movimiento rotatorio en movimiento lineal. Un tornillo es un surco helicoidal tallado en la superficie de una barra redonda. Cuando esta roscado en una tuerca, y esta a su vez se haya conectada a una guía el movimiento rotatorio del tronillo produce movimiento rectilíneo en la rosca. El movimiento rectilíneo producido por el giro del tronillo está determinado por la separación de la rosca (figura 2.10).

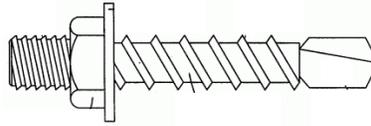


Figura 2. 9 Tornillo

Husillo [23]

Se denomina husillo, a un tipo de tornillo, generalmente largo, y de gran diámetro, metálico o de madera, el material más utilizado es acero templado, utilizado para accionar los elementos de apriete tales como prensas o mordazas, así como para producir el desplazamiento lineal de los diferentes carros de fresadoras y tornos, tal y como se muestra en la figura 2.11.



Figura 2. 10 Husillos

Sensor [5]

El termino censer es usado para un elemento que produce una señal relacionada a la cantidad que está siendo medida en un sistema o proceso.

Encoders ópticos

Un encoder óptico que tiene una salida digital como resultado de un desplazamiento lineal o angular. Los encoders de posición pueden agruparse en dos categorías; encoders incrementales que detectan cambios en la rotación de algún dato de posición y encoder absolutos que dan la posición actual.

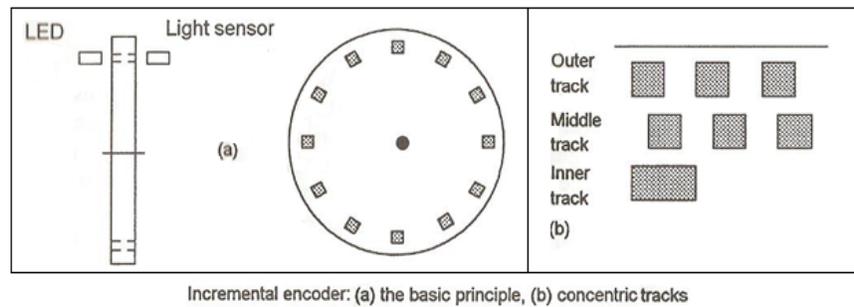


Figura 2. 11 Encoder incremental [5]

La Figura 2.12 muestra la forma básica de un encoder incremental para medir el desplazamiento angular. Un haz de luz pasa a través de las ranuras de un disco, y es detectado por un sensor óptico. Mientras el disco se haya rotando, un pulso de salida es producido por el sensor, el número de pulsos es proporcional al ángulo a través del giro del disco. Así la posición angular del disco y la rotación del eje, pueden ser determinadas por el número pulsos desde los datos de posición. En nuestro caso son usadas tres circunferencias concéntricas con tres sensores. El círculo interno tiene una sola ranura y es usado para localizar la posición inicial del disco. Los otros dos círculos tienen una serie de ranuras igualmente espaciadas que se distribuyen a través del disco pero con la mitad de la circunferencia desplazada hacia delante de las ranuras de la otra circunferencia por un medio del ancho de la ranura. Este desplazamiento permite determinar el sentido de la rotación. En sentido de las manecillas del reloj los pulsos en la circunferencia exterior se adelantan con respecto a los de la circunferencia interna, en sentido opuesto a las manecillas del reloj los pulsos se retrasan. La resolución está determinada por el número de ranuras en el disco.

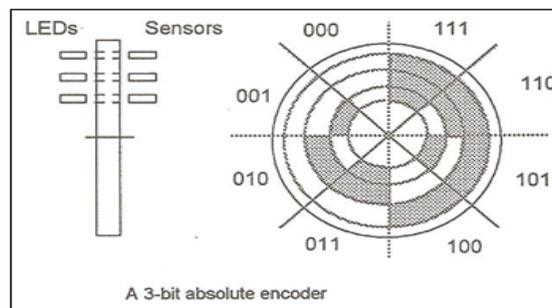


Figura 2. 12 Encoder absoluto [5]

La figura 2.13 nos muestra la forma básica de un encoder absoluto para la medición del desplazamiento angular. Es tiene una salida en forma de número binario con muchos dígitos, cada número representa una posición angular particular. El disco giratorio tiene tres círculos concéntricos con ranuras y tres sensores detectan los pulsos de luz. Las ranuras están acomodadas de tal manera que la secuencia de salida del sensor es un número en código binario. Los encoders normales suelen tener 10 o 12 circunferencias.

Así con 10 circunferencias se tendrán 10 bits y el número de posiciones que pueden ser detectadas son 210 equivalente a 1024 y la resolución es $360/1024=0.35$.

	Normal binary	Gray code
0	0000	0000
1	0001	0001
2	0010	0011
3	0011	0010
4	0100	0110
5	0101	0111
6	0110	0101
7	0111	0100
8	1000	1100
9	1001	1101
10	1010	1111

Binary and Gray codes

Figura 2. 13 Código Gray [5]

El código binario normal no es generalmente usada porque el cambio de un número binario al siguiente puede resultar en más que un cambio de bit, y a través de un instante, uno de los bits cambia fraccionalmente antes que los otros esto provocaría un falso conteo. Para solucionar se usa normalmente el código Gray code. Con este código solo un bit cambia en un movimiento de un número al siguiente. La figura 2.14 muestra circunferencias con código binario y código Gray.

Encoder interno

En el encoder interno es el sensor que se encuentra dentro de la estructura del motor; el LED emisor se encuentra instalado en el cojinete del que rodea al eje, el disco codificador está montado en el eje y el foto receptor se encuentra montado en la tarjeta electrónica, la cual manda la señal de salida por medio de cable dentro de un conector cilíndrico.

Generalmente, el encoder incremental proporciona mayor resolución a un costo más bajo que el encoder absoluto. Además, su electrónica es más simple ya que tienen menos líneas de salida. Por otra parte existen sensores externos que a diferencia de los internos, tienen que ser conectados mecánicamente a la flecha de algún dispositivo ó motor para realizar su función (Ver figura 2.15).



Figura 2. 14 Encoder



Servo-accionamiento

El Servo-drive es un conjunto de dispositivos mecánicos, hidráulicos o eléctricos empleados para controlar la velocidad, posición y toque de maquinas rotatorias, especialmente de motores. Las maquinas industriales generalmente son accionadas atreves de motores eléctricos, a velocidades constantes o variables, pero con valores precisos. No obstante, existen diferentes aplicaciones donde las velocidades, torques y posiciones no pueden ser constantes, es por ello que en dichas aplicaciones hay que usar dispositivos de alto grado de especialización, que sean capaces de retroalimentar, la posición, velocidad y torque del motor al sistema, para que el sistema sea capaz de corregir cualquier problema que altere el funcionamiento de los motores. Un Servo-drive consiste principalmente en la combinación de un motor eléctrico con un sistema de retroalimentación sobre diferentes variables del motor y el controlador que se emplea para regular la velocidad de giro.

Características

- Operación suave
- Control de aceleración
- Distintas velocidades de operación para cada fase del proceso
- Compensación de variables en procesos variables
- Permite operación lenta para fines de ajuste o prueba
- Permite el posicionamiento de alta precisión.
- Control de Par motor (Torque)
- Control de posición

Motor [7]

Un motor eléctrico es una máquina eléctrica que transforma energía eléctrica en energía mecánica por medio de campos electromagnéticos. Los motores de corriente alterna y los motores de corriente continua se basan en el mismo principio de funcionamiento, el cual establece que si un conductor por el cual circula una corriente eléctrica se encuentra dentro de la acción de un campo magnético, éste tiende a desplazarse perpendicularmente a las líneas de acción del campo magnético. El conductor tiende a funcionar como un electroimán debido a la corriente eléctrica que circula por el mismo adquiriendo de esta manera propiedades magnéticas, que provocan, debido a la interacción con los polos ubicados en el estator, el movimiento circular que se observa en el rotor del motor.

Servomotores

Servomotores están disponibles como motores AC o DC. Anteriormente los servomotores eran por lo general motores de corriente continua, porque durante muchos años el único tipo de control para grandes corrientes era a través de SCR. Como los



transistores son capaces de controlar grandes corrientes y cambiar la frecuencia para corrientes muy altas, el servomotor de CA se utiliza más frecuentemente. Los primeros servomotores fueron diseñados específicamente para servoamplificadores. Hoy en día una clase de motores asido diseñada para aplicaciones que pueden utilizar un amplificador servo o un controlador de frecuencia variable, lo que significa que un motor ca puede ser utilizado en un sistema como un servo, y se utiliza en una unidad de frecuencia variable en otras aplicaciones. Algunas empresas también llamar a cualquier sistema de circuito cerrado que no utiliza un motor paso a paso un sistema servo, así que es posible que un simple motor de corriente alterna de inducción que está conectado a un controlador de velocidad pueda ser llamado servomotor.

Algunos de los cambios que deben hacerse a cualquier motor que está diseñado como un servomotor incluye la capacidad de operar en un rango de velocidades sin sobrecalentamiento, la capacidad de funcionar a velocidad cero y conservar el par suficiente para mantener una carga en la posición, y la capacidad de funcionar a velocidades muy bajas durante largos períodos de tiempo sin sobrecalentamiento

Uno de los tipos de motores más en los sistemas de servoaccionamiento es el de tipo de imán permanente (PM). La tensión para el campo de alimentación del motor de imán permanente puede ser AC o DC.

Servomotores brushless

Un motor brushless a imán permanente es una maquina síncrona con la frecuencia de alimentación, capaz de desarrollar altos torques en forma transitoria para oponerse a todo esfuerzo que trate de sacarla de sincronismo. La denominación brushless deviene del hecho de que no pose escobillas y es una forma de diferenciarlos de sus predecesores los motores de imán permanente alimentados con corriente continua.

La inercia de un servomotor brushless es sustancialmente menor. Ambas características: sobretorques importantes e inercias reducidas son características apreciadas y útiles para el control de movimiento, pues permiten rápidas aceleraciones y desaceleraciones así como controles precisos de posición en altas velocidades. Por tanto este tipo de servomotor se empleara en el modulo didáctico (Ver figura 2.17).

Constructivamente el motor burshless posee un estator parecido al de un motor jaula de ardilla con el núcleo laminado y un bobinado trifásico uniformemente distribuido. El rotor esta constituido por un grupo de imanes permanentes fijados en el eje de la rotación. La fijación de los imanes al rotor ha sido uno de los puntos críticos en la construcción de estos motores debido a las altas fuerzas centrifugas a las que se encuentran sometidos durante los proceso de aceleración y frenado. Actual mente se combinan fijaciones mecánicas de diferentes tupos con pegado utilizado adhesivos especiales.

Asiendo circular corriente alterna en las fases del bobinado de estator se produce un campo magnético rotante en el entrehierro del motor. Si en cada instante el campo magnético generado en el estator intercepta con el ángulo correcto del campo magnético

producido por los imanes del rotor se genera torque para lograr el movimiento del motor con la carga acoplada a él.



Figura 2. 15 Servomotores Brushless

2.3 Descripción del sistema de drive

Debido a su baja confiabilidad y poca precisión los Accionamientos tradicionales son los dispositivos mas utilizados para controles de velocidad robustos, debido a que no es tan fácil controlar su velocidad, posición y torque como en los servo-accionamientos.

Los accionamientos tradicionales se han convertido en los dispositivos ideales para aplicaciones que requieren movimientos continuos y muy pocas variaciones de velocidad, torque y posicionamiento. Estos dispositivos son ideales para reducir costos por picos de corriente y eliminación de costosas partes mecánicas para la variación de velocidad.

Cabe señalar que dentro de los Servo-accionamientos los motores más utilizados son los Motores Jaula de Ardilla y Rotor devanado, ambos motores asíncronos de corriente alterna, donde cada uno puede ser ocupado para diferentes tipos de aplicación según las características del proceso en el que se implementará.

Motores CA.

El motor de jaula de ardilla es el tipo de motor de C.A. más usado por su construcción sencilla y resistente y sus buenas características de operación. Consiste en dos partes: el estator (parte estacionaria) y el rotor (parte giratoria). El estator se conecta una fuente de alimentación de CA y el rotor no se conecta eléctricamente a la fuente, el tipo más importante de motor de inducción polifásico es el motor trifásico. (La maquina trifásica tiene tres devanados y proporciona una salida entre varios pares de conductores.) Cuando el devanado del estator recibe energía de una fuente trifásica se crea un campo magnético giratorio. Al pasar el campo a través de los conductores del

rotor, por los cuales pasa corriente en el campo del estator, están sometidos entonces a una par motor que hace girar el rotor.

Motores jaula de ardilla y rotor devanado

Los motores de inducción trifásicos se clasifican en dos tipos: de jaula de ardilla y rotor devanado ambos tienen la misma construcción del estator pero difieren en la construcción del rotor. El núcleo del estator se construye de laminaciones ranuradas de chapa de acero. Los devanados están distribuidos en las ranuras del estator para formar los tres diferentes juegos de polos.

El rotor de un motor jaula de ardilla (Ver figura 2.17) tiene un núcleo laminado, con conductores colocados paralelos al eje incrustados en ranuras en el perímetro del núcleo. Los conductores del rotor no están aislados del núcleo. En cada extremo del rotor, están cortocircuitados por anillos continuos externos.

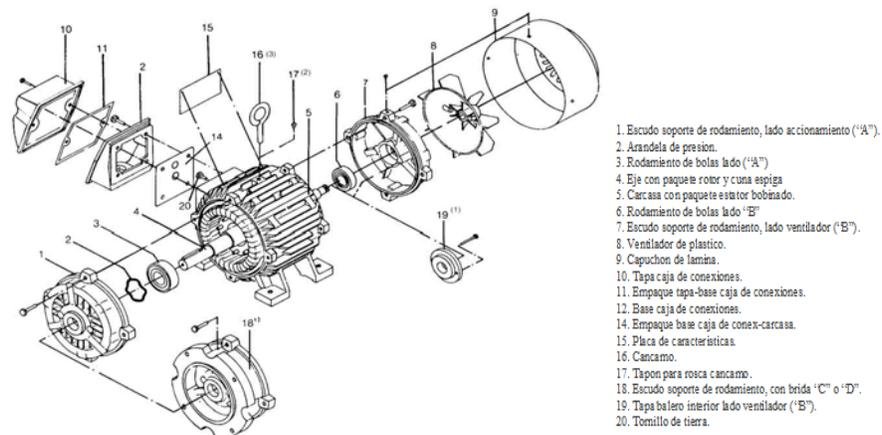


Figura 2. 16 Rotor jaula de ardilla

El rotor de un motor devanado se arrolla con un devanado aislado similar al devanado del estator. Los devanados de las fases del rotor se conectan a los tres anillos colectores montados en el eje del motor. El devanado del rotor no se conecta a la fuente. Los anillos colectores y la escobillas solo proporcionan la manera de conectar un reóstato externo en circuito del rotor. El reóstato sirve para controlar la velocidad del motor.

Sistema de control para el motor trifásico (VSD, Variable Speed Drive)

El Drive es un conjunto de dispositivos mecánicos, hidráulicos o eléctricos empleados para controlar la velocidad giratoria de máquinas, especialmente de motores. Las máquinas industriales generalmente son accionadas a través de motores eléctricos, a velocidades constantes o variables, pero con valores precisos. No obstante, los motores eléctricos generalmente operan a velocidad constante, dicha velocidad depende de las características del motor (Son difíciles de modificar) y la alimentación, para regular la

velocidad de los motores, se emplea un controlador especial que recibe el nombre de variador de velocidad como el mostrado en la figura 2.18. Un variador de velocidad puede consistir en la combinación de un motor eléctrico y el controlador que se emplea para regular la velocidad de giro del motor.

Características

- Operación suave
- Control de aceleración
- Distintas velocidades de operación para cada fase del proceso
- Compensación de variables en procesos variables
- Permite operación lenta para fines de ajuste o prueba
- Permite el posicionamiento de alta precisión.
- Control de Par motor (Torque)



Figura 2. 17 Drive (Power Flex 40)

2.3 Descripción del sistema de control [4]

Para obtener un control adecuado en los sistemas de Drives es necesaria la utilización de un Controlador automático programable, que sea capaz de controlar el movimiento de los Drives y llegar hasta la sincronización. Además dicho sistema de control debe ser capaz de modificar el funcionamiento cualquier modulo para realizar diferentes pruebas a través de diferentes tipos de comunicaciones, es por ello que deben estudiarse: los Tipos de control, las medias de comunicación y medios para la programación.

Tipos de controladores

Se sabe que cualquier tipo de proceso, no sería posible coordinarlo sin la existencia de los sistemas físicos capaces de captar, distribuir y almacenar toda la información generada. Es por ello que se hace necesaria la infraestructura de comunicaciones capaz de realizar integración de los sistemas integrales. Este es un hecho que ahora parece ser asumido por la mayoría de las industrias, pero no siempre ha sido así. Tradicionalmente se distinguen tres tipos de sistema de control industrial: control centralizado, control distribuido y control híbrido. La importancia de las tareas a realizas, o la posibilidad de

subdividir la tarea de control del proceso o conjunto de maquinas en esas funciones automáticas, determinara en muchos casos la selección de un tipo u otro de control.

Sistema de control centralizado

Un proceso puede ser gestionado directamente mediante un único elemento de control encargado de realizar todas las tareas del proceso y puede incluir un sistema de monitorización y supervisión. Conforme las necesidades de producción ha requerido mayor complejidad, una tendencia ha sido la de emplear elementos de control más complejos y potentes, manteniendo un único elemento de control todo el proceso, con la complejidad que ello supone que se hace necesario hacer llegar todas la señales de sensores y cablear todos los actuadores donde se encuentren. Como ventajas de esta metodología, no es necesario planificar un sistema de intercomunicaciones entre procesos ya que todas las señales están gestionadas por el mismo sistema de control, su costo es mucho menor que otros tipos de sistemas de control.

Controlador lógico programable PLC

Un control lógico programable es un dispositivo electrónico digital (Figura 2.20) que usa una memoria programable para guardar instrucciones e implementar funciones como son; lógica, secuencias, temporización, contadores y aritmética, para controlar maquinas y procesos y está especialmente diseñado para programarse fácilmente. El término lógico es utilizado porque la programación es básicamente concerniente con implementación lógica y operaciones de conexión. Los dispositivos de entrada por ejemplo contactos y dispositivos de de salida; Motores, a controlar son conectados al PLC y entonces el controlador monitorea las entradas y salidas de acuerdo con la programación guardada en el PLC por el operador y son controladas las maquinas y los procesos. El PLC tiene la ventaja de que el control de sistema puede ser modificado sin tener que reconectar las conexiones de entradas y salida de los dispositivos, el único requisito es que un operador tenga la llave en diferente gama de instrucciones. Estos son más rápidos que los sistemas de relés y más seguros. Los resultados son un sistema flexible que puede usarse en el sistema de control con una pequeña variación en la exactitud en su naturaleza y complejidad. El sistema es usado exactamente para la implementación de la lógica de control por que este es fácil de usar y programar (Ver figura 2.19).

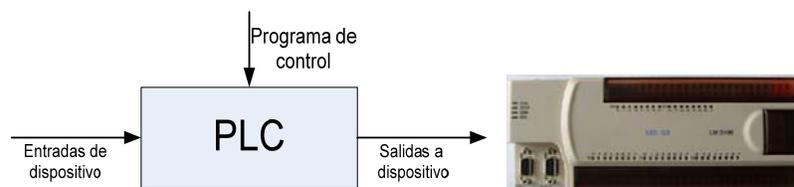


Figura 2. 18 Representación esquemática y física de un PLC



El PLC es similar a las computadoras pero tiene ciertas características que son específicas para su uso como controlador. Estas son:

- Es robusto y diseñado para soportar vibraciones, temperaturas humedad y ruido.
- La interfaz para entradas y salidas esta dentro del controlador
- Son fáciles de programar y tienen un lenguaje fácil de entender. La programación es básicamente con lógica y contactos.

Controlador Automatizado programable PAC [27]

Un PAC (Programmable Automation Controller) (Figura 2.20) es una tecnología industrial orientada al control automatizado, al diseño de prototipos y a la medición. El PAC se refiere al conjunto formado por un controlador, módulos de entradas y salidas, y uno o múltiples buses de datos que lo interconectan con otros equipos.

Este controlador combina eficientemente la fiabilidad de control automático (controlador lógico programable o PLC) junto a la flexibilidad de monitorización y cálculo de una PC. Los PACs pueden utilizarse en el ámbito de investigación, pero es sobre todo en al área industrial donde mayor aplicaciones tiene, y se enfoca principalmente en el control de máquinas y procesos. Sus principales características son: múltiples lazos cerrados independientes de control, adquisición de datos con alta precisión, análisis de datos matemáticos en forma profunda, monitorización remota, visión artificial, control de movimiento para robótica industrial, control de movimiento seguro y simulación en tiempo real con animación.

Los PACs se comunican usando los protocolos de red más comunes como son:

- Abiertos como, TCP/IP, OPC, SMTP, Serial RS485, RS232 y ModBus,
- Y es compatible con los privados (CAN, Profibus, Divicenet).

Los PAC's son capaces de transmitir datos desde una maquina controlada a diferentes maquinas y componentes en sistema de control o aplicaciones de software o bases de datos, Un PAC como centro del sistema de automatización puede integrar múltiples redes de comunicación.

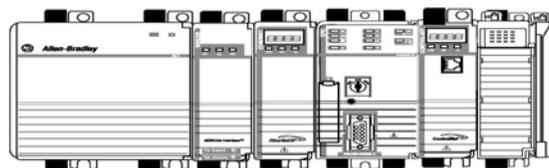


Figura 2. 19 Programmable Automation Controller



Comunicaciones y medios de transmisión [30]

El medio de transmisión constituye el canal que permite la transmisión de información entre dos terminales en un sistema de transmisión. Las transmisiones se realizan habitualmente empleando ondas electromagnéticas que se propagan a través del canal.

Entre las características más importantes dentro de los medios de transmisión se encuentra la velocidad de transmisión, la distorsión que introduce en el mensaje, y el ancho de banda. En función de la naturaleza del medio, las características y la calidad de la transmisión se verán afectadas. Los medios de transmisión guiados están constituidos por un cable que se encarga de la conducción (o guiado) de las señales desde un extremo al otro.

Las principales características de los medios guiados son el tipo de conductor utilizado, la velocidad máxima de transmisión, las distancias máximas que puede ofrecer entre repetidores, la inmunidad frente a interferencias electromagnéticas, la facilidad de instalación y la capacidad de soportar diferentes tecnologías de nivel de enlace.

La velocidad de transmisión depende directamente de la distancia entre los terminales, y de si el medio se utiliza para realizar un enlace punto a punto o un enlace multipunto.

Dentro de los medios de transmisión guiados, los más utilizados en el campo de las comunicaciones y la interconexión de computadoras, como se muestra en la tabla 2.1, son:

Medio de Transmisión	Razón de datos total	Ancho de Banda	Separación entre repetidores
Par Trenzado	4 Mbps	3 Mhz	2 a 10 km
Cable Coaxial	500 Mbps	350MHz	1 a 10 km
Fibra Óptica	2Gbps	2GHz	10 a 100 km

Tabla 2. 1 Medios de transmisión Guiados

Comunicaciones basadas en fibra óptica

La fibra óptica es un medio de transmisión empleado habitualmente en redes de datos; un hilo muy fino de material transparente, vidrio o materiales plásticos, por el que se envían pulsos de luz que representan los datos a transmitir. El haz de luz queda completamente confinado y se propaga por el núcleo de la fibra con un ángulo de reflexión por encima del ángulo límite de reflexión total, según la ley de Snell. La fuente de luz puede ser láser o un LED.

Las fibras se utilizan ampliamente en telecomunicaciones, ya que permiten enviar gran cantidad de datos a una gran distancia, con velocidades similares a las de radio y/o

cable. Son el medio de transmisión por excelencia al ser inmune a las interferencias electromagnéticas, también se utilizan para redes locales, en donde se necesite una alta confiabilidad y fiabilidad.

Comunicación basada en par trenzado

El par trenzado: Consiste en un par de hilos de cobre conductores cruzados entre sí, con el objetivo de reducir el ruido de diafonía. A mayor número de cruces por unidad de longitud, mejor comportamiento ante el problema de diafonía.

Existen dos tipos de par trenzado:

- Protegido: *Shielded Twisted Pair* (STP)
- No protegido: *Unshielded Twisted Pair* (UTP)

El UTP, presenta una mera cubierta de plástico que protege el cable de contacto directo, mientras que el STP dispone de una cobertura exterior en forma de malla conductora, además de la de plástico final, que sirve para reducir las interferencias electromagnéticas externas. De esta forma, los pares trenzados STP presentan mejores características de transmisión que los UTP, aunque la desventaja que presentan es que son más caros que los UTP.

Protocolos de comunicación [31]

Con respecto a los dispositivos que se desean instalar en una aplicación industrial, es necesario establecer el nivel de la red y el protocolo a utilizar. Este se entiende como las determinadas reglas a cumplir por los dispositivos que desean comunicarse, esto quiere decir que para que exista la comunicación es necesario que haya una normatividad por ejemplo: velocidad, tipo de datos, etc.

En la figura 2.21 es posible apreciar los diferentes niveles y protocolos de comunicación, usado en la industria americana.

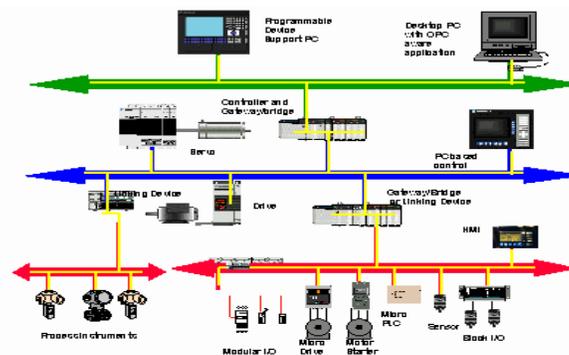


Figura 2. 20 Niveles y protocolos de comunicación

Lenguajes de programación [5]

Una computadora y un PAC o PLC son dispositivos electrónicos que solo comprende instrucciones que se le dan en un determinado formato. Cada máquina reconoce y ejecuta un número de instrucciones diferentes que se agrupan en los distintos lenguajes de programación. Un lenguaje de programación es un conjunto limitado de palabras y de símbolos que representan procedimientos, cálculos, decisiones y otras operaciones que pueden ejecutar las computadoras y/o PAC's. La clasificación más común y básica que suele hacerse de los lenguajes de programación es la que los divide en lenguajes de bajo nivel, alto nivel y estructurado.

Lenguajes de programación en escalera

La forma básica de comunicación en el lenguaje de control electromagnético, es mediante el uso de los llamados diagramas de línea o de escalera. Los cuales consisten de una serie de símbolos interconectados por medio de líneas, para identificar el flujo de corriente a través de distintos dispositivos, el diagrama de línea indica en un tiempo corto, una serie de información que se relaciona y que podría tomar muchas palabras para su explicación. El diagrama en escalera muestra dos cosas principalmente fuente de alimentación y como fluye la corriente a través de los dispositivos (Ver figura 2.22).

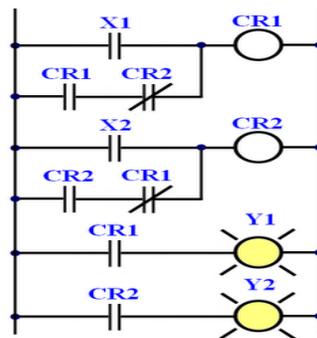


Figura 2. 21 Programa en escalera

Lenguajes de programación a bloques funcionales

En la lógica secuencial, la programación con bloques funcionales es muy superior a otras formas de programación, mientras que los diagramas escalera y booleanos son mejores en lógica combinacional (Ver figura 2.24).

Dado que hoy en día el control de procesos se programa principalmente con lógica secuencial, la programación con bloques funcionales se convierte en el estándar para programar PAC's.

- Este lenguaje incluye un conjunto de símbolos y convenciones tales como pasos, transiciones, conectividades (también llamados enlaces) y condiciones.
- Los pasos son una serie de símbolos secuenciales individuales, que se representan por cuadrados, que pueden contener nombres que describen la función del paso.
- Las transiciones son los elementos del diagrama que describen el movimiento de un paso a otro.
- Los enlaces muestran el flujo del control, el que va desde arriba hacia abajo y de izquierda a derecha, salvo que se indique lo contrario.
- Las condiciones están asociadas a las transiciones y deben ser descritas dentro del bloque. Describen la función del proceso o bloque, que se debe cumplir en un momento dado.

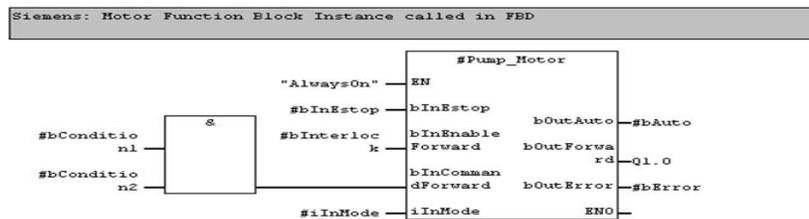


Figura 2. 22 Programa en bloques funcionales

En capítulo dos se abordan los principales conceptos que giran en torno al proyecto de control de movimiento para un módulo didáctico de bobinado, todo esto con el objeto de brindar una visión general del tema antes de profundizar en la selección y propuesta del sistema mecánico para la simulación del bobinado industrial que se presenta en el capítulo siguiente.

Cap.3

Descripción del modulo didáctico Propuesto

En el presente capítulo se explica el funcionamiento general y particular de los sistemas de Drive y Servo-Drive propuestos para el control de movimiento y la sincronización de ejes, También se hace un análisis dinámico ideal para el modulo didáctico propuesto.



Capítulo 3. DESCRIPCIÓN DEL MODULO DIDÁCTICO PROPUESTO

Como se menciona en el capítulo 1 y 2, el módulo didáctico a proponer es un sistema de bobinado que demuestra la sincronización de ejes en forma integral, basado en la programación de un control automático programable (PAC). Para entender el funcionamiento del módulo didáctico es necesario analizar el Sistema mecánico y el Sistema eléctrico.

3.1 Descripción del proceso de bobinado propuesto

En la aplicación para el embonado se requiere que el material sea enrollado uniformemente y espaciadamente en el carrete o núcleo. El espaciado de la capa está determinado por las dimensiones o calibre de material (Hilo o Alambre), el tamaño del devanado y paso de husillo. Dichos requisitos por lo general significan una bobinadora para cada producto específico. Con un sistema de sincronización de ejes y servomotores se proporcionará la flexibilidad para llevar a cabo diferentes tipos de embobinado según las características que el usuario requiera.

Con el software y un correcto análisis pueden realizarse modificaciones al proceso de cómputo de una manera sencilla y eficaz con el objetivo de controlar el sistema mecánico de manera total, con solo modificar los valores del diámetro del hilo, tamaño del devanado y el número de capas por carrete, sin la necesidad de hacer cambios mecánicos. Todo esto es posible debido a que el sistema usado es un sistema electromecánico computarizado instalado en el sistema de guía y carrete del material, los cuales mantienen una relación de velocidad y posición constante.

Todos los cálculos para llevar un correcto bobinado se realizarán a través del programa para determinar qué cantidad de capas deberán colocarse y que tan uniformemente se extenderán las capas del devanado o carrete.

El objetivo del módulo didáctico es la sincronización del sistema de guía y carrete (Servo-Drive y Drive). El cual se llevará a cabo de la siguiente manera: Cuando el núcleo o carrete (Motor jaula de ardilla) este rotando, su posición será transmitida al módulo del PAC por un encoder óptico montado en el Sistema de Carrete, dicho sistema es activado por un motor trifásico el cual es accionado a través de un Drive (PowerFlex40). Por otra parte El sistema de guía (Servo-Motor) sigue el recorrido del núcleo mientras El Carrete se haya rotando, debido a que el sistema debe ser de alta precisión para ser activado se usa un servomotor (Motor Brushless) el cual es accionado por un Servo-Drive (Kinetix2000) dicho servo envía y recibe información del PAC. Toda la información de los dos sistemas (Sistemas de Guía y Carrete) es transmitida a través de diferentes medios de comunicación, al PAC, para que este la procese, según los parámetros que el usuario a determinado y el PAC mande la información procesada a los Servos y se obtengan el carrete de hilo o alambre deseado.

Descripción del mecanismo para el módulo didáctico

La figura 3.1 muestra la representación del sistema mecánico dividido en dos subsistemas (Sistema de Guía y Sistema de Carrete). Debido a que el sistema de carrete es el encargado de enrollar el hilo y el sistema de guía de determinar las características del enrollado es necesario analizar los dos sistemas en forma conjunta, el estudio de los componentes mecánicos en forma integral se estudiara en la secciones siguientes del presente capítulo.

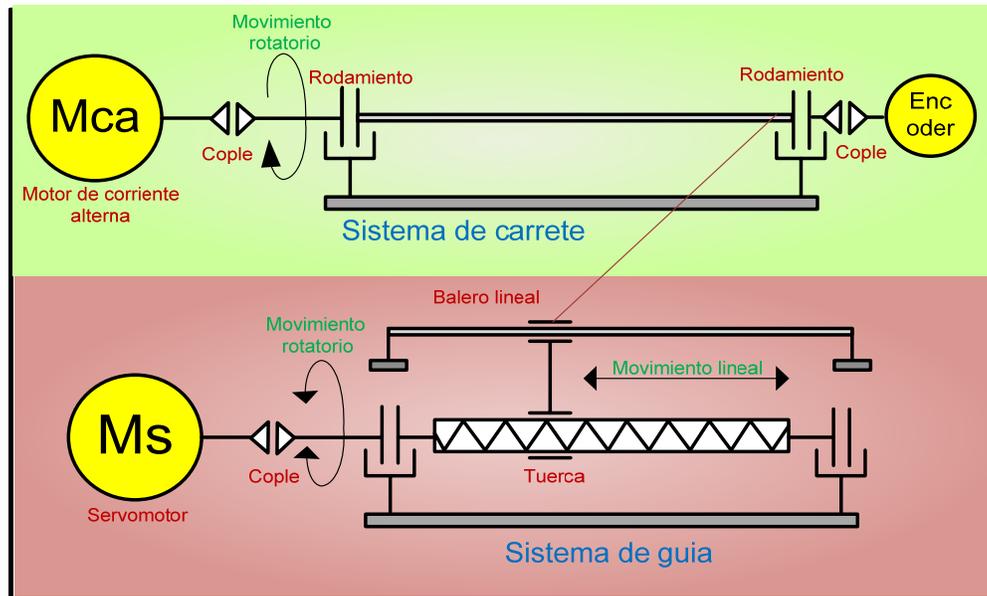


Figura 3. 1 Cadena cinemática para el sistema mecánico del módulo didáctico

Descripción y selección del sistema de control para el sistema de bobinado propuesto

Debido a que el módulo didáctico tiene como finalidad el control de movimiento, es necesario que el sistema de control propuesto tenga la capacidad de controlar dos ejes de movimiento, para este caso práctico, el eje del servomotor y el eje del motor de corriente alterna como se muestran en la figura 3.1, Debido a que el sistema de control debe ser preciso es necesario utilizar un Control Automático Programable, el cual fungirá como cerebro del módulo didáctico con la principal tarea de mantener un control por relación entre los sistemas de guía y carrete, para el módulo didáctico propuesto se propone la utilización del MicrologixL43 que es uno de los quipos con que se cuentan en los laboratorios de ICA y tiene la capacidad para desarrollar la sincronización de ejes para drives. La figura 3.2 es una representación grafica general del diagrama de bloques de la solución propuesta para la bobinadora donde se observan dos lazos de control basados en cada uno de los ejes a controlar.

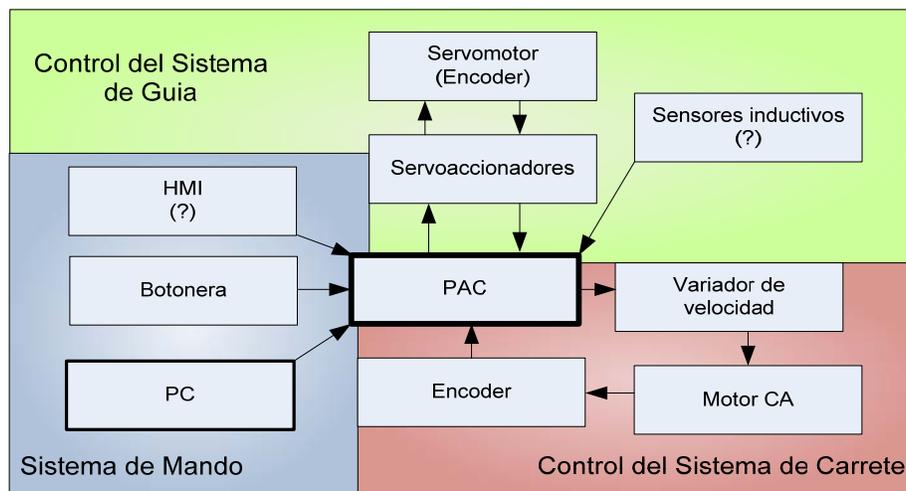


Figura 3. 2 Diagrama a bloques para el control del modulo didáctico

Debido al PAC seleccionado (Micrologix L43) para el desarrollo del modulo didáctico, se pueden proponer el uso de Drives o Servo-Drives, según las exigencias dinámicas requeridas para la aplicación. Como ya se menciona anteriormente en el capítulo dos, la velocidad del motor jaula de ardilla permanecerá constante o con muy poca variación en su velocidad, por lo que para esta aplicación (Sistema de carrete) se propone la utilización de un Powerflex40 el cual solo tendrá la función de variador de velocidad; el PowerFlex que se propone utilizar es el 40 debido a que es el drive adecuado para arrancar los motores de 1/3HP que se tiene en laboratorio ICA. Por otra parte la aplicación del sistema de guía es necesario contar con un Servoaccionamiento que sea capaz de disminuir su velocidad de manera precisa y rápida, y tener inversiones del sentido de giro en forma rápida, es por ello que para esta dinámica de altas exigencias se propone el uso de un Servoaccionamiento, basado en servomotores, y con los equipos que se cuentan en laboratorio son los Kinetix2000.

Curvas de comportamiento del sistema de bobinado

Dadas las características del Alambre o Hilo a bobinar, el funcionamiento del modulo didáctico tendrá tres tipos de respuestas, o mejor dicho tres tipos de embobinados, los cuales dependen en gran medida de las velocidades del motor de corriente alterna y la del servomotor, los tres tipos de casos son:

- Caso 1: Si el desplazamiento lineal del sistema de guía es lento con respecto al movimiento rotatorio del carrete o núcleo, se obtiene como resultado que el hilo sea enrollado más de una vez en la misma área, provocando empalmes de hilo, como se ve en la figura 3.3.

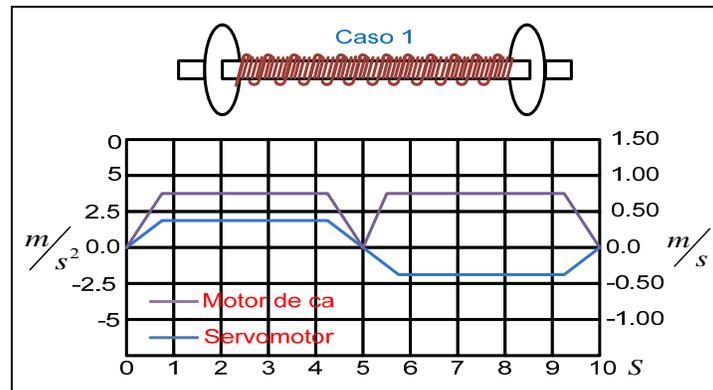


Figura 3. 3 Caso 1 para el bobinado

- Caso 2: Si el desplazamiento lineal del sistema de guía es proporcionalmente adecuado al movimiento rotatorio del carrete o núcleo, en otras palabras se mantiene un relación de velocidad constante y adecuada, se tiene como resultado un embobinado compacto, uniforme y sin empalmes de hilo, como se muestra en la figura 3.4.

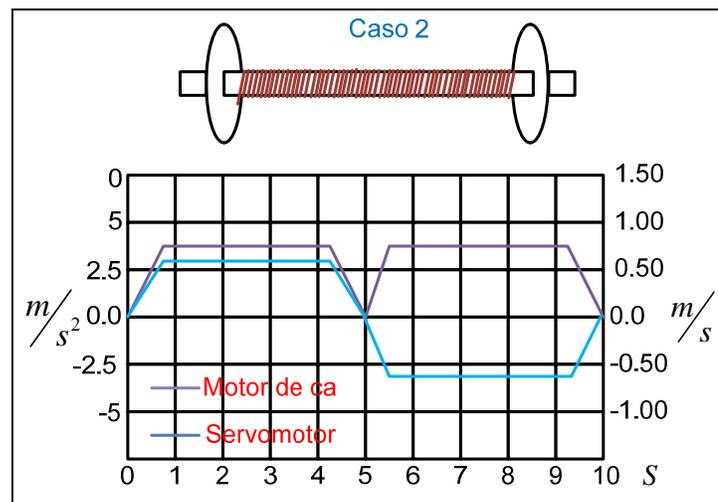


Figura 3. 4 Caso 2 para el bobinado

- Caso 3: Si el desplazamiento lineal del sistema de guía es muy rápido con respecto al movimiento rotatorio del carrete o núcleo, se obtiene como resultado que el hilo es enrollado de manera floja o muy espaciada, como se muestra en la figura 3.5.

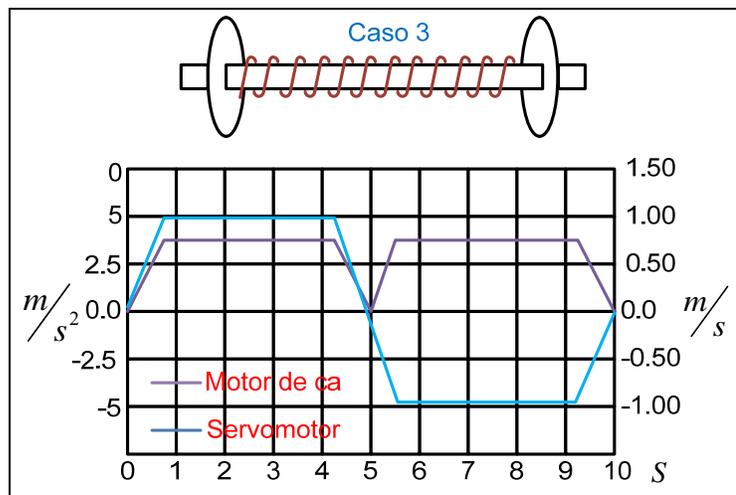


Figura 3. 5 Caso 3 para el bobinado

Como se puede observar en las curvas de comportamiento de las figuras 3.3, 3.4 y 3.5 el sistema general para el bobinado debe funcionar de una manera precisa y eficaz, por ello es necesario implementar un sistema que sea capaz de controlar y sincronizar el movimiento de los sistemas de guía y carrete. Las ventajas de utilizar un servo sistema para el control se debe a que:

- Brinda flexibilidad para una amplia variedad de aplicaciones de embobinados que pueden ser trabajados con la misma maquinaria haciendo pequeñas o ningunas modificaciones.
- Brinda exactitud y consistencia al proceso de producción.

El perfil de movimiento propuesto para el Sistema de Guía se analizará a detalle en el capítulo 4 con ayuda de un software especializado debido a la alta precisión requerida por el servomotor y el motor C.A., el análisis de movimiento de los sistemas de guía y carrete se analizará en forma conjunta en el capítulo 6 junto con su programación.

3.2 Diseño mecánico y eléctrico para el módulo didáctico

Conceptualización y selección mecánica

Todo sistema mecánico tiene características importantes como son, resistencia de materiales, características físicas, cinemática, entre otras, dichas propiedades son muy importantes pues en ellas se basa el tamaño y diseño de todos los dispositivos mecánicos, pero para el desarrollo del módulo didáctico no solo es importante el sistema mecánico si no también la relación que existe entre el sistema eléctrico. Por esa razón el diseño mecánico que se lleva a cabo debe cumplir ciertas especificaciones que están íntimamente ligadas con los motores como por ejemplo, velocidad, posición, par motor, carga mecánica, entre otras.



Para el sistema de guía se ha propuesto la utilización de un husillo debido a su fácil construcción, bajo costo y soportar las exigencias para la alta dinámica del sistema de guía. Para el sistema de carrete solo se ha propuesto la simulación de un carrete que esta girando, por lo que el mecanismo propuesto es un eje rotatorio, donde se pretende enrollar el hilo.

Análisis de los sistemas eléctrico y mecánico

Para comprender y analizar el comportamiento, como también las limitaciones del sistema mecánico es necesario analizar los sistemas eléctricos y mecánicos de los sistemas de guía y carrete en forma aislada y posteriormente integrar todos los análisis para obtener un buen funcionamiento.

Análisis eléctrico para el sistema de guía

Las características eléctricas del sistema de guía están dadas principalmente por las características del servomotor y el Servo-Drive, que brinda el movimiento rotatorio al husillo de dicho sistema. Donde la función del husillo es la de transformar un movimiento rotatorio en lineal.

Las principales características del servomotor MPL-A1520U se ven en la tabla 3.1:

Tabla 3.1 Especificaciones de comportamiento para motor de baja inercia [20]	
Motor	A1520U
Max Velocidad rpm	7000
Torque máximo continuo Nm(lb-in)	0.49 (4.3)
Torque pico Nm(lb-in)	1.58 (14)
Potencia de salida del motor (kW)	0.27
Velocidad de salida del motor rpm	7000
Inercia del rotor kg-m²(lb-in-s²)	0.000013(0.00012)
Peso del motor aproximado. kg (lb)	1.2 (2.6)

Las principales características del controlador Kinetix2000=>2093-AMP1 se muestran en la tabla 3.2.

Tabla 3.2 Especificaciones del sistema de potencia [21]	
Atributos	Kinetix 2000 2093-AMP1
Ancho de banda	
Velocidad de lazo	500Hz
Corriente de lazo	1300Hz
Frecuencia de PWM	8kHz
Voltaje nominal de entrada	325 VAC
Corriente continua (rms)	1.0A



Corriente continua (0-pk)	1.41A
Pico de corriente (rms)	3.0A
Pico de corriente (0-pk)	4.20A
Tiempo del pico de corriente de salida (max)	3s de 0% utilization del drive (0% soak)
Potencia de salida continua (nom)	0.3 kW
Eficiencia	98%
Capacitancia	200 μ F
Capacidad de absorción de energía	7.5 J
Inverter PCB leakage current	1mA

Como se observa en las tablas 3.1 y 3.2, el sistema de guía en la parte del husillo no puede exceder un torque mayor a los 0.49N, debido a que el motor podría dañarse, no puede excederse una corriente de 3A y de igual manera tampoco se puede exceder los límites de velocidad, entre otros.

Análisis mecánico del sistema de guía

Las características mecánicas del sistema de guía están limitadas por el sistema eléctrico y dado en gran medida por el husillo. Las principales características del sistema de guía propuesto son las siguientes (Ver Diagrama 1,2,3, Anexo 1):

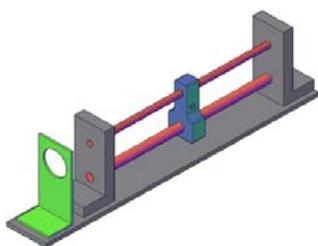


Diagrama 1

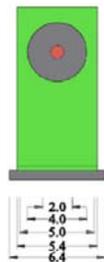


Diagrama 2

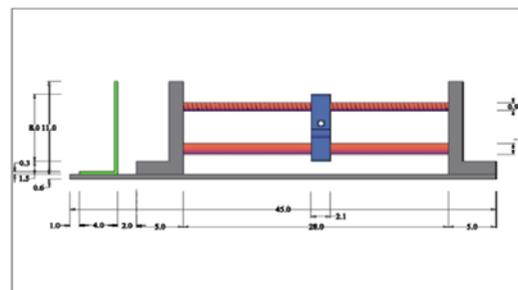


Diagrama 3

Para comprender el movimiento del sistema de guía es necesario analizar:

- Perfil de movimiento
- Fuerzas que interactúan sobre la carga del husillo
- Fuerzas que interactúan sobre el servo accionamientos

La figura 3.6 muestra el perfil de movimiento del servomotor para la aplicación del sistema de guía. La tabla 3.3 muestra las tres principales características del movimiento

lineal, que se obtienen del perfil de movimiento deseado, como también los valores para un funcionamiento normal y un funcionamiento máximo de operación.

Tabla 3.3 Características del perfil de movimiento para el servomotor (Sistema de guía)		
	Normal	Máxima
Distancia del desplazamiento lineal desde el inicio al fin del Husillo	28 cm	30 cm
Tiempo del desplazamiento lineal desde el inicio al fin del Husillo	6 s	5s
Tiempo de espera para la inversión del sentido de giro del servomotor	30 R	35 R



Figura 3. 6 Perfil de movimiento

La figura 3.7 muestra los vectores de las fuerzas que actúan sobre la carga mecánica que requiere de un movimiento lineal, la carga deberá mover el husillo. La tabla 3.4 muestra los valores normales y máximos para los factores que afectan el desplazamiento del husillo con dicha carga mecánica.

Tabla 3.4 Datos de carga sobre el Husillo		
	Normal	Máxima
Masa de la carga	100gr	190gr
Fuerza externa ejercida a la masa	-0.5N	-0.9N
Coefficiente de fricción	0.15	0.25
Grados de inclinación de la carga con respecto al husillo	0	0

Tabla 3. 1

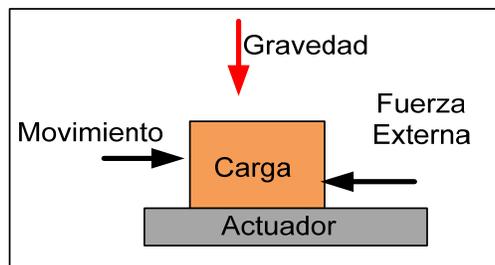


Figura 3. 7 Fuerzas sobre la carga del servoaccionamiento o Husillo

La figura 3.8 muestra los vectores de las fuerzas que actúan sobre el servo-accionamiento (husillo) por las propiedades mínimas del sistema. La tabla 3.5 muestra

los valores normales y máximos para los factores que afectan el desplazamiento del husillo.

Tabla 3.5 Características del actuador tipo husillo		
	Normal	Máxima
Distancia recorrida por husillo con una revolución del motor (Paso del usillo)	2mm	2mm
Inercia de carga del Husillo (Husillo + Rodamiento + Tuerca)	3.5Kg-mm ²	5.2Kg-mm ²
Pre-carga inercial (Fuerza necesario requerida para romper la inercia)	0.08N-m	.35N-m
Eficiencia del husillo al realizar el recorrido	90%	85%

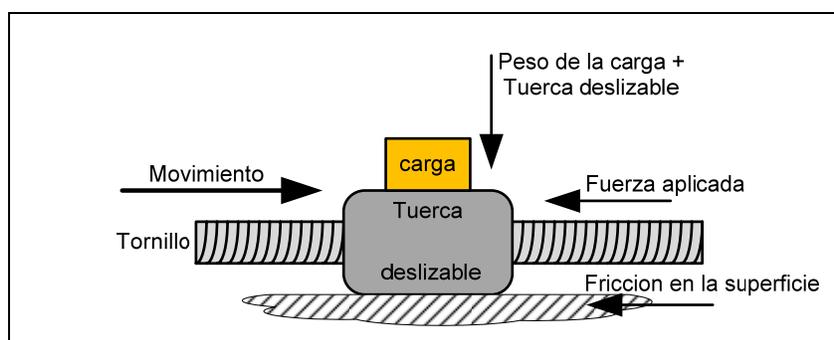


Figura 3. 8 Fuerzas sobre el servoaccionamiento o Husillo

Nota. Algunas de las características mecánicas anteriormente mencionadas, se han obtenido por medio del Mototion-Anlizer de AB (Ver capítulo 4), otras por medio se aparatos de medición (Fluxómetro, calibrador), formulas matemáticas y tablas.

Análisis eléctrico del sistema de carrete

Las características eléctricas del sistema de carrete propuesto están dadas por el motor que brinda el movimiento rotatorio que hace girar el carrete donde se enrolla el hilo, y el Drive que controla a dicho motor.

Las principales características del motor trifásico de corriente alterna se exponen en la tabla 3.6.

Tabla 3.6 Especificaciones del comportamiento del motor trifásico [15]	
Motor	SIEMENS
Velocidad máxima rpm	1800
Potencia de salida del motor Hp	1/3
Velocidad de salida del motor rpm	1720
Peso aproximado kg (lb)	5 (2.6)

Las principales características de Drive Powerflex40, se muestran en la tabla 3.7.

Tabla 3.7 Power Flex 4 [19]	
Características	PowerFlex 40
Maximos HP y Tension	(3.7) 5 HP /230V, 3Φ
Capacidad de sobre carga	150% for 60s
Tipo de control	V/Hz
Velocidad predeterminada	4
Frecuencia portadora	2-16kHz
Voltaje de control	24V fuente
Entradas discretas	3 Fijo para STAR/STOP/REV 2 completamente programables
Entradas analógicas - Unipolar	1 (0-10V or 4-20mA)
Respuesta analogica	2 Hz (500ms)

Análisis mecánico del sistema de carrete

Las características mecánicas del sistema de carrete están limitadas por el sistema eléctrico y dadas en gran medida por el mecánico, dichas características son las siguientes, Las principales características del sistema de guía son las siguientes (Ver Diagrama 4,5,6, Anexos 1):

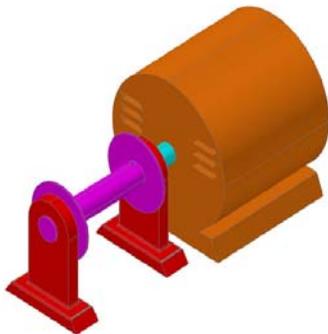


Diagrama 4



Diagrama 5

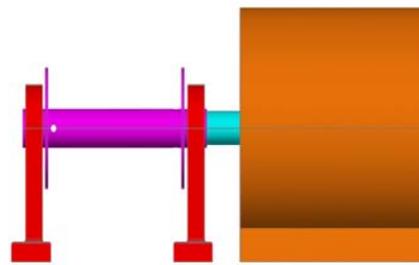


Diagrama 6

Para comprender el movimiento del sistema de carrete es necesario analizar:

- Perfil de movimiento
- Fuerzas que actúan sobre el sistema de carrete

La figura 3.9 muestra el perfil de movimiento del Motor Trifásico Jaula de Ardilla para el sistema de carrete. La tabla 3.8 muestra los valores normales y máximos para los factores que afectan el desplazamiento del husillo.

Tabla 3.8 Características del perfil de movimiento para el motor 3F		
-----	Normal	Máxima
Tiempo de rotación del motor	x	x
Tiempo de espera para la reducción de velocidad del motor	0.1s	0.2s
Velocidad de rotación de motor	4rev/s	3rev/s

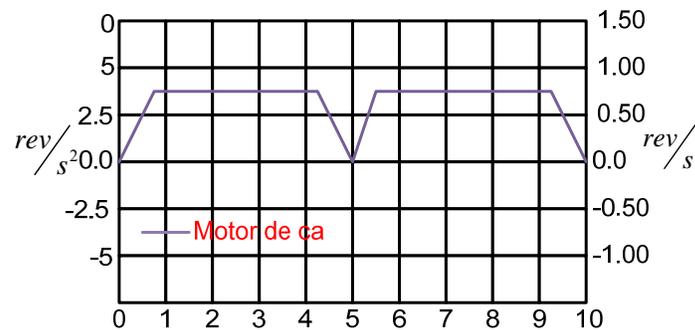


Figura 3. 9 Perfil de movimiento

La figura 3.10 muestra las propiedades principales del sistema de carrete. La tabla 3.9 muestra los valores normales y máximos para los factores que afectan la rotación del sistema de carrete al incrementar el volumen de hilo.

Tabla 3.9 Datos de carga sobre el carrete		
-----	Normal	Máxima
Masa de la carga por mm	0.002g	0.003gr
Coefficiente de fricción	0.09	0.20
Incremento de diámetro por capa (Para Hilo de cáñamo)	1mm	1mm
Inercia ejercida por la masa	3.5Kg-mm ²	5.2Kg-mm ²
Pre-carga inercial	0.23N-m	.38N-m
Eficiencia del sistema de carrete	85%	90%

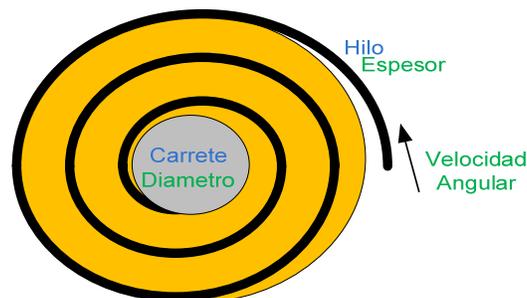


Figura 3. 10 Características del bobinado

Cálculos para el bobinado o enrollado [14]

Para desarrollar los cálculos del modulo didáctico se tienen los siguientes datos:

Grosor _del _Nucleo = gn = Variable

Grosor _del _Cable = gc = Cte.

Paso _de _Hisillo = PH = Cte.

Revoluciones _del _nucleo = Rn = Cte.

Revoluciones _de _la _Guia = Rg = Variable

Tamano _de _la _bobina = Tb = Cte.

Metraje _Consumdo _por _Vuelta = X = Variable

Numero _de _Capas = i = Variable

Separacion _entre _Cables = Y = Cte.

Numero _de _pasos _de _hilo = n = cte.

Para los cálculos se tienen las siguientes consideraciones:

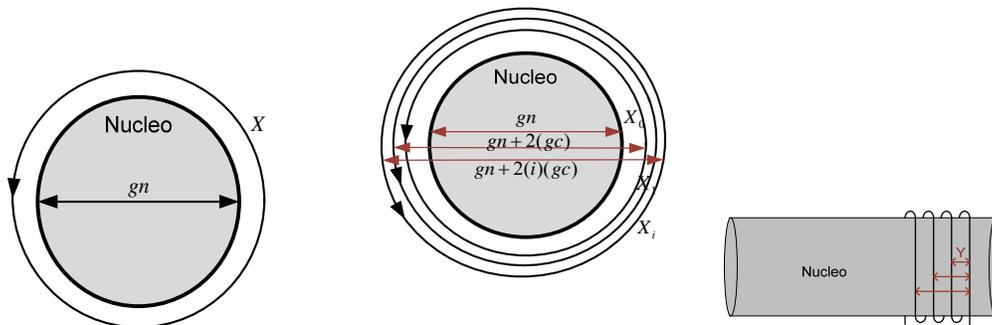


Figura 3. 11 Metraje por vuelta

Figura 3. 12 Metraje para numero vueltas

Figura 3. 13 Paso por Hilo

A) Calculo para el Metraje

Calculo del metraje 2D

$$X_0 = \pi (gn) \text{-----} \rightarrow ec.1$$

$$X_1 = \pi (gn + 2 (gc))$$

$$X_2 = \pi (gn + 2(2)(gc))$$

$$X_3 = \pi (gn + 2(3)(gc))$$

$$X_i = \pi (gn + 2(i)(gc)) \text{-----} \rightarrow ec.2$$



Calculo del Grosor del Nucleo por Capa

$$gn_0 = gn \text{ -----} \rightarrow ec.3$$

$$gn_1 = gn + 2(gc)$$

$$gn_2 = gn + 2(2)(gc)$$

$$gn_3 = gn + 2(3)(gc)$$

$$\underline{gn_i = gn + 2(i)(gc)} \text{ -----} \rightarrow ec.4$$

Calculo del Tamano de de bobina

$$Tb_0 = gc \text{ -----} \rightarrow ec.5$$

$$Tb_1 = gc + gc + Y$$

$$Tb_2 = gc + gc + gc + Y + Y$$

$$\underline{Tb_n = (n)(gc) + (n-1)(Y)} \text{ -----} \rightarrow ec.6$$

Calculo del metraje 3D

$$X_0 = \pi(n)(gn) \text{ -----} \rightarrow ec.7$$

$$X_1 = \pi(n)(gn + 2(gc))$$

$$X_2 = \pi(n)(gn + 2(2)(gc))$$

$$X_3 = \pi(n)(gn + 2(3)(gc))$$

$$\underline{X_i = \pi(n)(gn + 2(i)(gc))} \text{ -----} \rightarrow ec.8$$

A) Velocidad y Tiempos

Calculo de la Velocidad del Sistema de Guia

$$V = \frac{d}{t}$$

$$\underline{t_{Carrete} = \frac{X_i}{V_{Carrete}}} \text{ -----} > ec.9$$

$$\underline{V_{Guia} = \frac{PH}{t_{Carrete}}} \text{ -----} > ec.10$$

3.3 Descripción de la aplicación del módulo didáctico propuesto

Para el desarrollo del módulo didáctico es necesario tener en cuenta ciertas consideraciones de los sistemas de control, eléctrico y mecánico como se han mencionado en las secciones anteriores y se profundizará más en los siguientes capítulos. El figura 2.24 se muestra el diagrama general para el diseño del módulo didáctico. Los principales componentes a utilizar para construcción del módulo didáctico son:

- 1 módulo CompactLogix 1768-L43 con tarjetas de Entradas, Entradas-Rápidas, y Salidas digitales, Ethernet, SERCOS, Devicenet.
- 1 módulo Kinetix 2000 de AB
- 1 servomotor MPL-A1520U de AB
- 1 variador de velocidad Power Flex 40 de AB
- 1 motor 3F de 1/3Hp
- 2 sensores de proximidad
- 1 módulo de bobinado
- 1 interfaz Divicenet
- 1 interfaz SERCOS
- 1 interfaz Ethernet
- 1 interfaz Ethernet

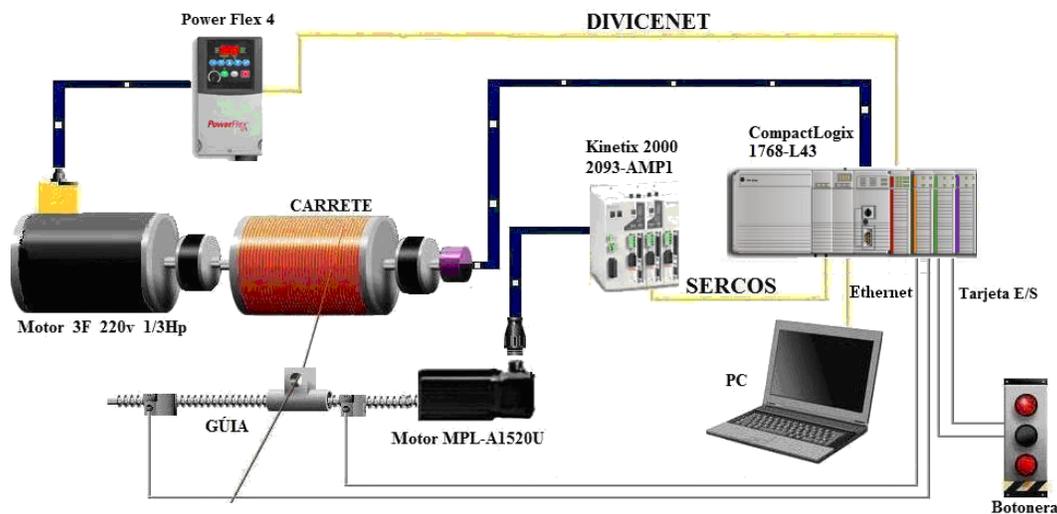


Figura 2. 23 Diagrama general del Módulo didáctico

Con los componentes seleccionados el módulo didáctico tendrá la capacidad de bobinar diferentes tipos de devanados o carretes de hilo, debido a que la sincronización de ejes lo permite, con ello se obtiene un sistema base que permite el bobinado para diferentes materiales y tamaños.



En el capítulo 3 se ha desarrollado un análisis sobre las principales características que debe cumplir el modulo didáctico, como son: las condiciones para los perfiles de movimiento, características sobre el sistema eléctricos y mecánico, así como las principales consideraciones a tomar para un correcto bobinado de hilo, por último se proponen los equipos necesarios para el desarrollo del modulo didáctico para bobinado. Aunque lo anterior es la base para el desarrollo del proyecto, es necesario realizar un análisis profundo sobre el desempeño que se obtendrá cuando el sistema mecánico y eléctrico se encuentre en funcionamiento, dicho análisis se realiza en el capítulo 4.

Análisis de movimiento

En el presente capítulo se desarrolla un análisis profundo para los perfiles de movimiento que deberán presentar los sistemas de Drive's y Servo-Drive's, para determinar si la aplicación es adecuada para los dispositivos o no lo es.



CAPITULO 4. ANÁLISIS DE MOVIMIENTO

4.1. Software de control de movimiento para servo Drives [27]

El software utilizado para analizar el movimiento de un sistema mecánico que se conecta a un Servo-motor AB es el Motion Analyzer Software.

Motion Analyzer Software (MAS) es una herramienta de dimensionamiento para comprender, analizar, optimizar, seleccionar y validar el movimiento del sistema de control Kinetix.

El MAS facilita el proceso de diseño de máquinas e investigación de procesos haciéndolos fáciles, simples y exactos. MAS ofrece una base para la decisión pasos y diseño de optimización aproximadas que permiten la construcción de maquinas con:

- Reducción del riesgo en el diseño de sistema de movimiento
- Reducción del tiempo para el diseño de la maquina con carga
- Optimización del sistema de control de movimiento costo y tamaño
- Mejora el rendimiento de la maquina y la confiabilidad

Kinetix 2000

Gracias a los Servo-accionadores Kinetix 2000 de Allen-Bradley, las capacidades de control avanzadas y de alta precisión para Servo-mecanismo se encuentran disponibles en rangos de bajas potencias para aplicaciones demostrativas, o industriales de pequeño tamaño.

Gracias a esta nueva familia de Kinetix se ofrecen a los usuarios una selección incluso mayor de funciones de control de movimiento de alto rendimiento, lo que permite que los constructores de maquinas expandan sus productos con soluciones mas adecuadas para los usuarios que requieren menor potencia. Al igual que el resto de la familia Kinetix, el Kinetix 2000 (Ver figura 4.1) es escalable para adecuarse a una amplia gama de aplicaciones en rangos desde 300W hasta 3kW. El servo accionador se integra de forma directa con servomotores, accionadores y controladores logix de AB, para brindar gran flexibilidad en el diseño de maquinas, y eficiencia en energía sin alterar los sistemas de control de fabricación. Los Servo-accionadores Kinetix ofrecen simplicidad de operación y la capacidad de integrarse a la plataforma de control con un diseño simple y eficaz

El diseño modular de los servoaccionadores Kinetix ayuda a minimizar el tiempo de cableado y los costos relacionados al reducir número total de conexiones. El ahorro logrado por medio de los accionadores Kinetix2000 puede aprovecharse al máximo cuando estos mismos se combinan con el servomotor de baja inercia, y conjuntamente con el controlador Compactlogix.



Figura 4. 1 Kinetix 2000

Servomotores MP-Series de baja inercia

Los motores MP son de baja inercia, alto rendimiento, servomotores brushless y cuentan con un diseño de ingeniería que reduce el tamaño del motor, mientras que entrega un par motor grande. Esta serie de servomotores se destina a ser utilizado con los sistemas Kinetix 2000, a través de una interfaz SERCOS y controlados por un Compactlogix. Estos motores proporcionan capacidades de par continuo 1.58 a 150 Nm (14-1327 lb-in.) Y momentos pico de 3,61 a 290 Nm (32-2566 lb-in.).(Ver figura 4.2)

Sus principales beneficios son:

- Encoder óptico absoluto de alta resolución.
- La tecnología de núcleo segmentado producen hasta un 40% más de par por unidad de tamaño de los servomotores convencionales.



Figura 4. 2 Servomotores de baja inercia

Selección de la aplicación adecuada

Debido a que en el presente trabajo se realizara una propuesta para la construcción de un modulo didáctico con el material adquirido por el IPN, es necesario conocer las características máximas de operación del sistema de Servoaccionamiento, es por ello que se analizaran dichas características con el Motion Analyzer Software.

4.2 Simulación del control de movimiento para el Servo-accionamiento [10]

El software analizador de movimiento que se utilizara para la selección de componentes para el sistema de control de movimiento de Servo-accionamientos lleva por nombre Motion Analyzer Version 4.6.

1. Inicialización del software para control de movimiento figura 4.3

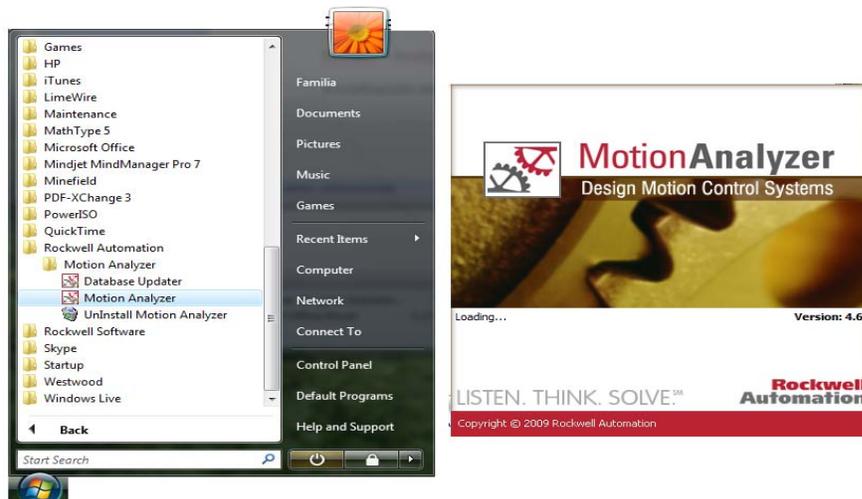


Figura 4. 3 Motion Analyzer

2. Creando un nuevo proyecto en el simulador de movimiento con las características máximas para el movimiento que se deberá tener para el modulo propuesto (ver capítulo 3). Figurar 4.3

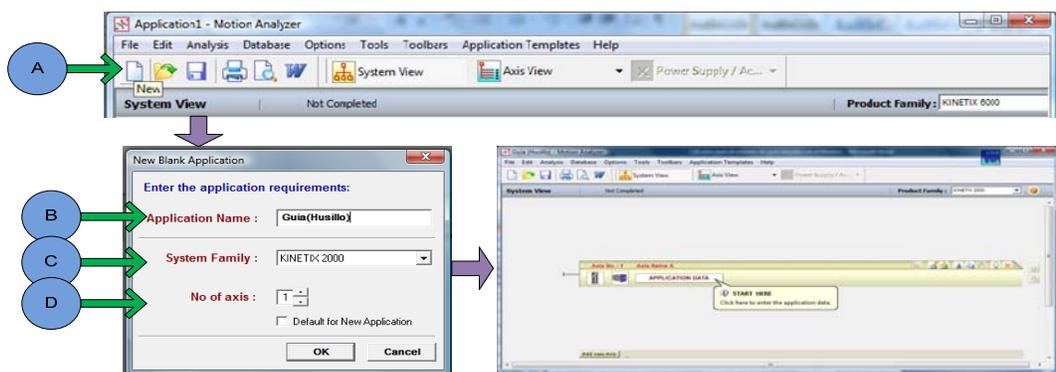


Figura 4. 4 Creación de una nueva aplicación

De la figura 4.4 se tiene lo siguiente:

- A) Se crea una nueva aplicación
- B) Se le asigna el nombre al proyecto

- C) Se selecciona la familia del servo-accionador, en este caso el Kinetix2000
- D) Se selecciona el número de ejes a emplear en la simulación en este caso solo se utilizara 1 eje.

3. Configuración del eje del Servo-accionamiento. Figura 4.5

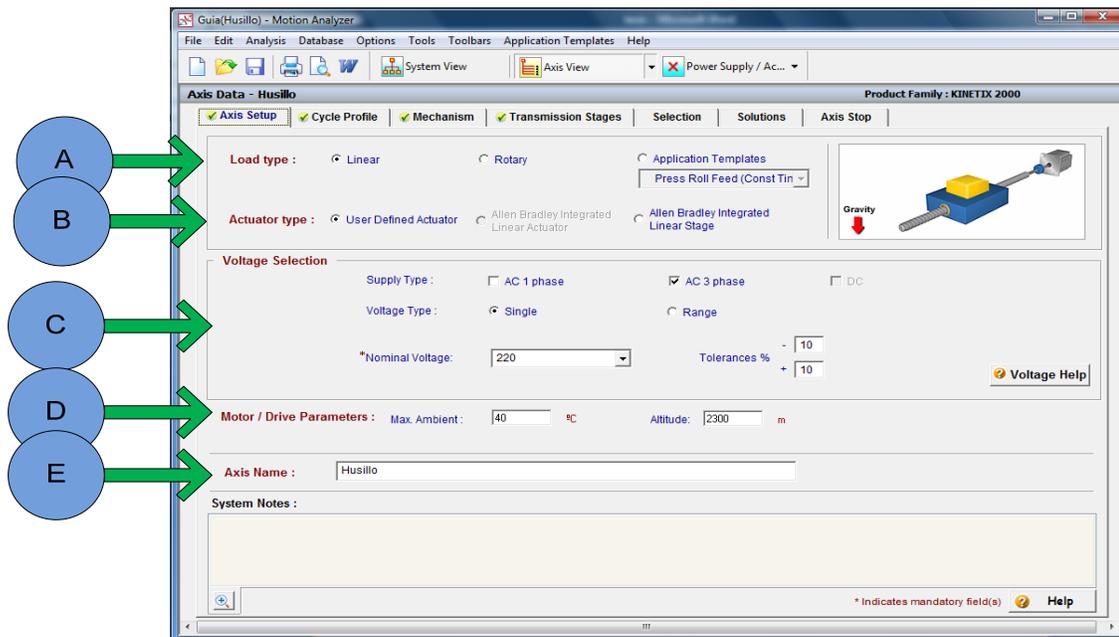


Figura 4. 5 Servo-accionamiento.

- A) Indica los tipos de carga que existen, en nuestro caso la carga se considera lineal, debido a que el husillo transforma el movimiento rotatorio en lineal.
 - B) Indica el tipo de actuador a emplear, se selecciona un actuador definido por el usuario que en nuestro caso es un Husillo.
 - C) Se indica el voltaje de alimentación para el servomotor, en nuestro caso se selecciona 230Vca con una tolerancia de ± 10 .
 - D) Indica parámetros de ambiente y altitud para el equipo, se considera una temperatura máxima de 30°C a una altitud de 2300m, esto en relación a datos de la ciudad de México.
 - E) Indica el nombre que se le puede dar al eje, se nombra “Husillo”
4. Ingresando de parámetros de movimiento
Para ingresar al perfil de movimiento es necesario abrir la pestaña del perfil de movimiento figura 4.6, posterior mente se ingresaran los datos del perfil de movimiento.

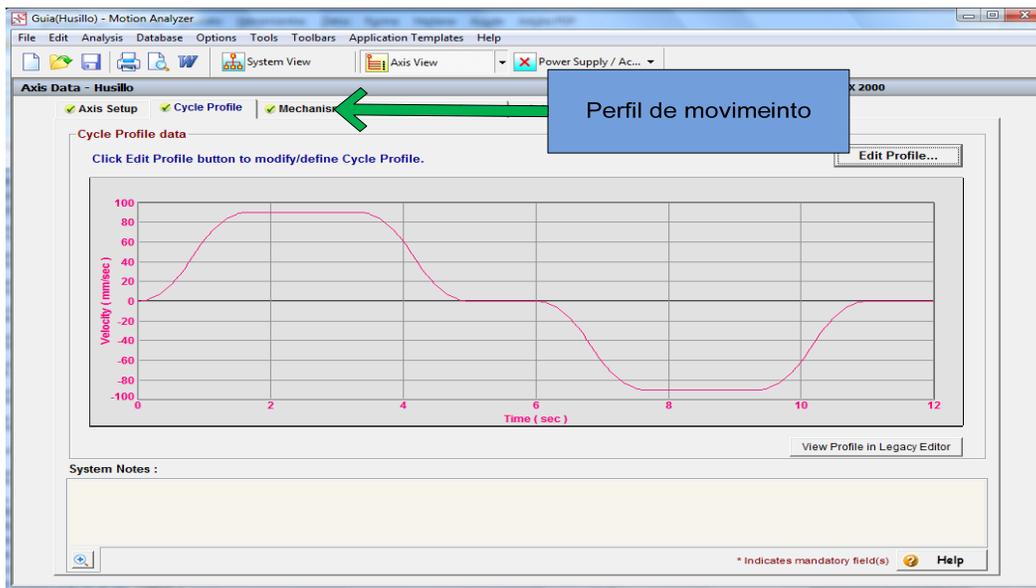


Figura 4. 6 Perfil de movimiento para le Servo-accionador

Para los parámetro del perfil de movimiento es necesario abrir el “Edit profile” y posterior mente ‘more options’ la figura 4.6 muestra los datos que se ingresaron en dicha sección para cada perfil de movimiento (4 perfiles de movimiento: avanza, tiempo de espera, regresa y nuevamente tiempo de espera).

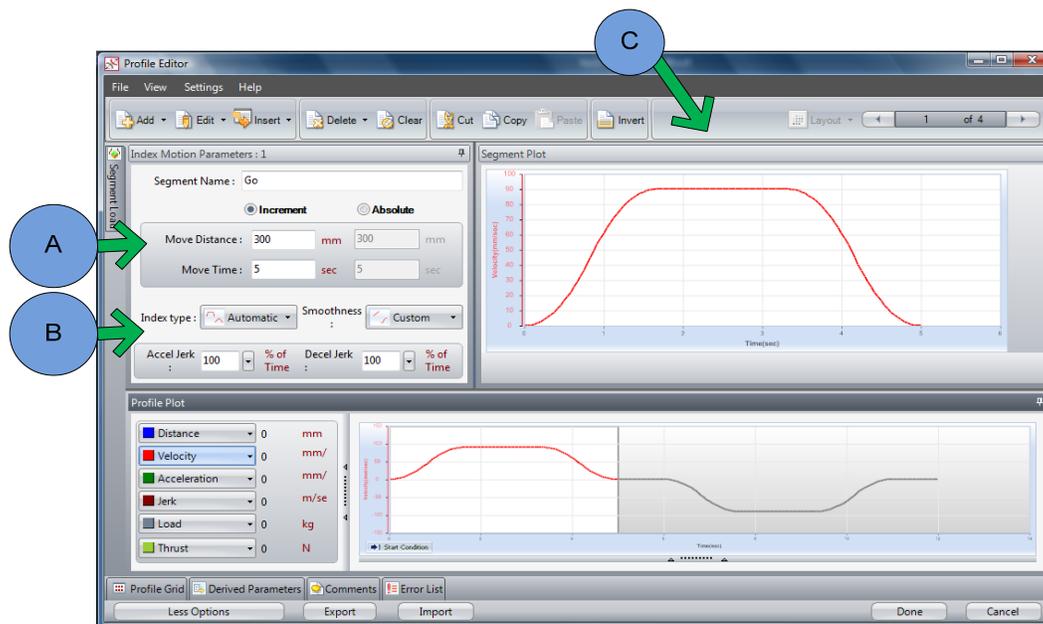


Figura 4. 7 Ingreso de perfil de movimiento para el Servo-accionador

- A) Se asignan parámetros que son dependientes del sistema mecánico propuesto que es activado por el servo-motor, como son la distancia de movimiento (30cm), tiempo que duración del desplazamiento (5s), tiempo de espera o permanecía (1s).
- B) Indica el tipo de curva que representara el movimiento.
- C) Muestra el perfil de movimiento que tendrá el Husillo, con los valores asignados.

Una vez se acepta el perfil de movimiento se puede observar el comportamiento del Husillo en forma general y en forma específica si así se desea. La figura 4.8 muestra el comportamiento en forma específica del Husillo.

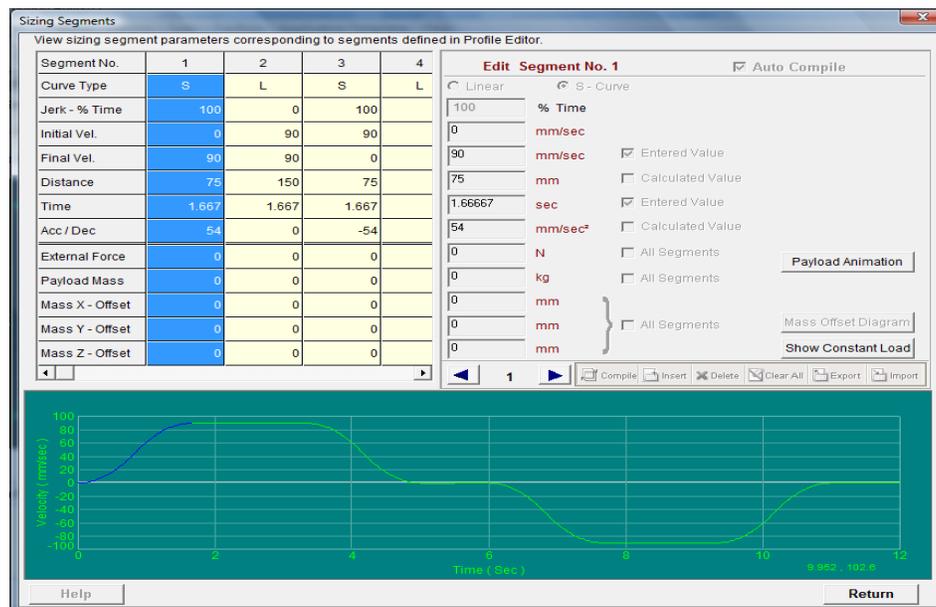


Figura 4. 8 Comportamiento en forma específica del Husillo

- 5. Ingresado de parámetros del mecanismo propuesto
Para ingresar las características del mecanismo es necesario abrir la pestaña de mecanismo figura 4.9, posterior mente se ingresaran los datos del sistema mecánico.

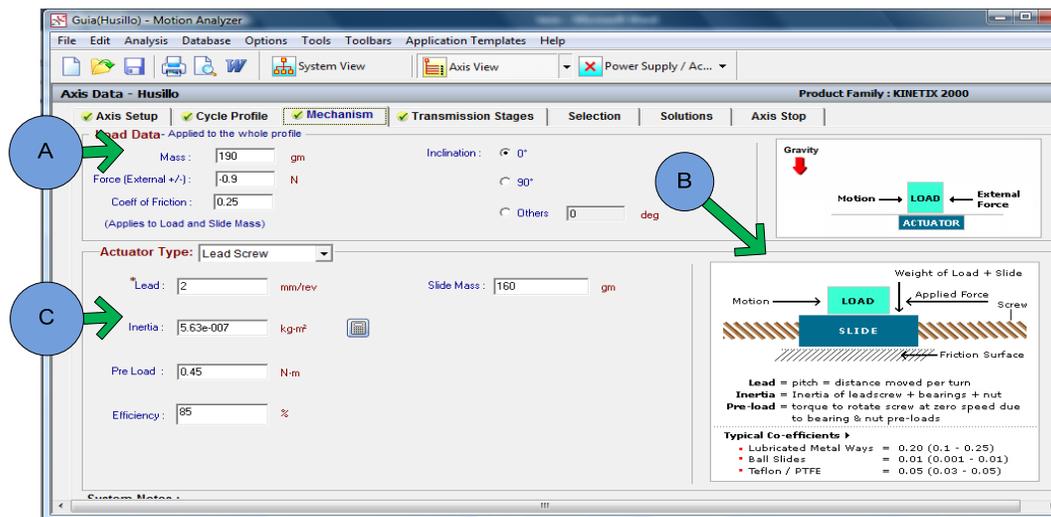


Figura 4.9 Parámetros del mecanismo propuesto

En la figura 4.9 se tiene lo siguiente

- A) En esta sección se introducen los datos de la carga que deberá mantener el Husillo. Como son:
- Masa que es desplazada por el Husillo, igual con; 190gm
 - Fuerza que se opone al movimiento de la masa, igual con; -0.9N
 - Coeficiente de fricción que existe entre la masa y el Husillo (Metal-Metal lubricado), igual con; 0.25
 - El sistema de guía para la bobinadora, no tiene ángulo de inclinación por lo tanto es igual con cero.
- B) Muestra la representación grafica del actuador y su carga.
- C) En esta sección se indica el tipo de actuador, el cual en este caso será un actuador tipo husillo, y sus principales características son:
- Distancia recorrida por la tuerca en cada vuelta, es igual con; 2mm/rev
 - Inercia debida al husillo (para el cálculo de esta inercia usamos el editor propio del MA, como se ve en la figura 4.8).
 - Torque necesario para iniciar el movimiento desde una velocidad cero , igual con; 0.45N·m
 - Eficiencia del Husillo, igual con; 85%

La figura 4.10 se muestra la forma de calcular la inercia con ayuda del MA. Para nuestro caso el husillo tiene: un diámetro de 9mm, un largo de 350mm, es de acero y para cuestiones análisis se considera como un cilindro, el pale se

considera un cubo con masa de 160gm y los balero es tan considerado como cilindros huecos.

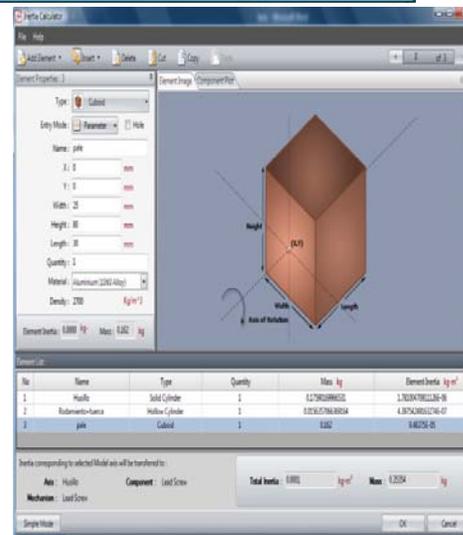
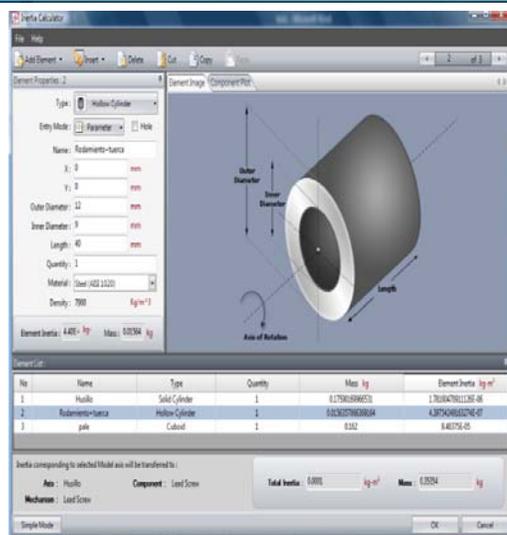
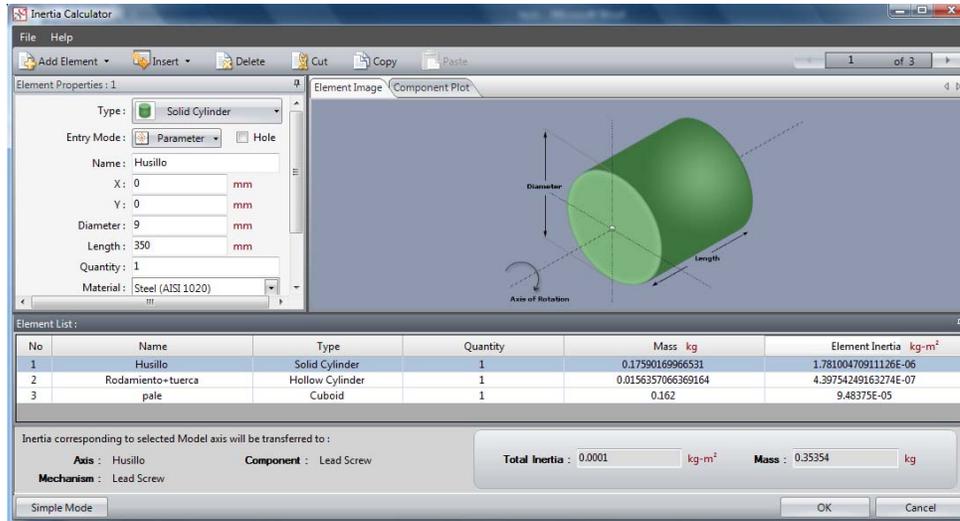


Figura 4. 10 Calculo de Inercias mecanismo

6. Ingresado de parámetros para la transmisión

Para ingresar las características del sistema de acoplamiento es necesario abrir la pestaña de transmisiones figura 4.11, posterior mente se ingresaran los datos del sistema mecánico.

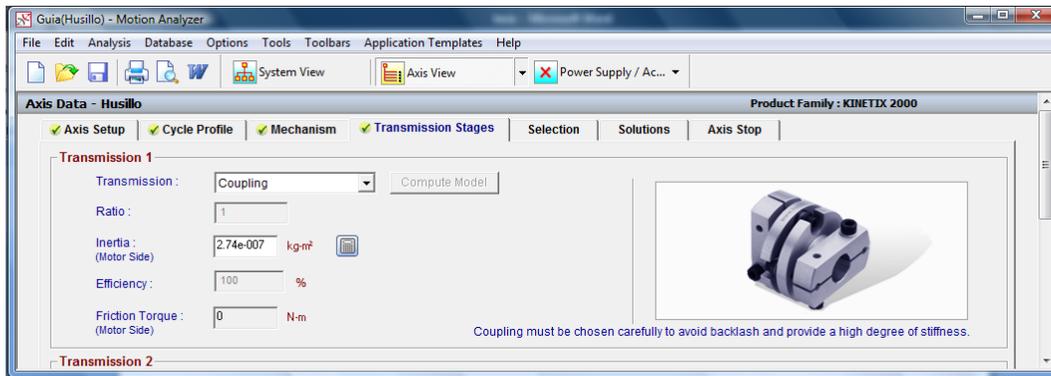


Figura 4. 11 Parámetros para la transmisión

En la figura 4.11 se tiene lo siguiente:

El sistema de transmisión es un copleé, la inercia se calcula como lo muestra la figura 4.12

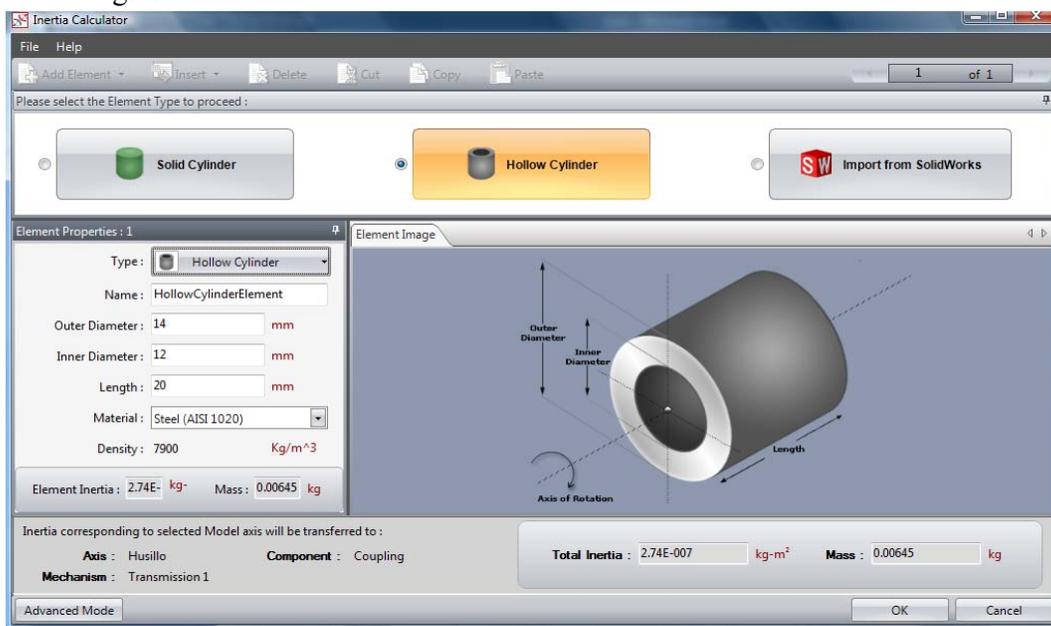


Figura 4. 12 Calculo de Inercias Cople

La figura 4.12 muestra la forma de calcular la inercia con ayuda del MA. Para nuestro caso el acoplamiento tiene: un diámetro externo de 14mm, un diámetro interno de 12mm un largo de 20mm, es de acero y para cuestiones análisis se considera como un cilindro hueco.

7. Ingresado de parámetros de los equipos a utilizar (Motores y Drivers)

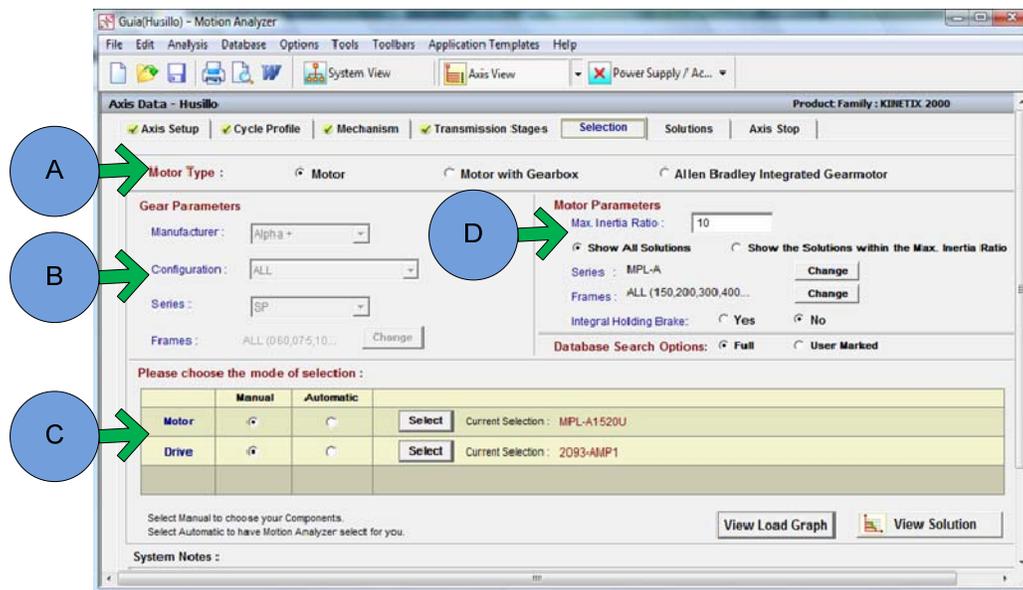


Figura 4.13 Parámetros de los servo accionamientos

De la figura 4.13 se tiene lo siguiente:

- A) Indica el tipo de motor , para el presente proyecto solo se usara un motor
- B) Indica parámetros de la caja de engranes, en este caso no usado.
- C) Se selecciona el tipo de motor y el driver que lo controla, en el presente caso un motor MPL-A1520U y un drive 2093-AMP5
- D) Indica parámetros del motor donde para el presente proyecto una inercia máxima de 10.

8. Análisis de soluciones

En esta sección el software nos brinda parámetros específicos del la solución que son totalmente dependientes de las 5 secciones anteriores (Tipo de motor, mecanismo, perfil de movimiento, acoplamiento, drive). El software es capaz de brindarnos los detalles de los dispositivos cuando se encuentren en funcionamiento, en la figura 4.14 podemos observar los detalles del comportamiento del motor y del drive para los parámetros asignados. Nótese que las barras de colores indican el grado de confiabilidad para cada variable durante la aplicación, estas barrar pueden aparecer en tres diferentes colores, los cuales son verde, amarillo y rojo, estos nos indican respectivamente, el funcionamiento del dispositivo, donde los funcionamientos pueden ser; ideal, casi ideal tendiendo a la desviación y la desviación total del sistema, que podría ocasionar un error y en el peor de los caso dañar el equipo de control.

Como se puede observar en la figura 4.14 el simulador de movimiento arrojo, que para el sistema de bobinado diseñado, se tendrá un comportamiento casi ideal en todos los rublos.

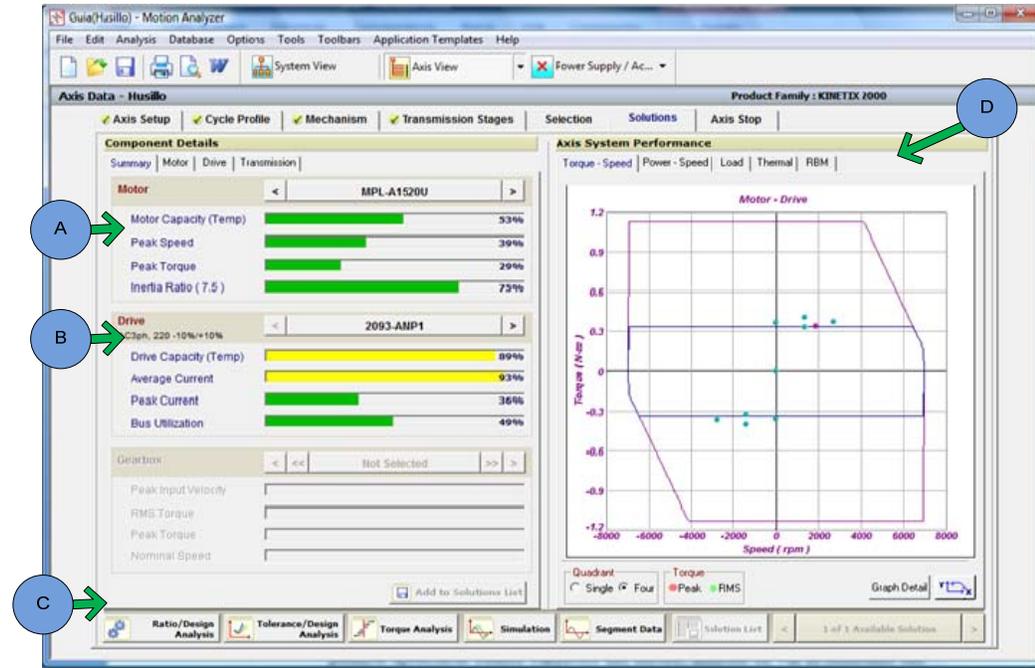


Figura 4. 14 Análisis de soluciones

- Indica el modelo del motor analizado, el cual es MPL-A1520U; aquí es posible apreciarse cuatro variables del motor, además de ver el resultado del análisis para la aplicación que se tiene de este eje, la primera variable es la capacidad del motor con un resultado de 53%, la segunda es la velocidad pico con un resultado de 39%, la tercera es el torque pico con un valor de 27%, y finalmente se tiene la velocidad nominal con un resultado de 84%.
- Indica el modelo del servoaccionador analizado, el cual es 2093-AMP5, nuevamente son arrojados los resultados de 4 variables analizadas por el software, la primera es la capacidad del servoaccionamiento con un resultado de 86%, la segunda es variables se encuentra la corriente promedio con un valor de 93%, posteriormente esta la corriente pico de 33% y para finalizar se tiene la utilización de bus con un valor de 49%
- Muestra diferentes tipos de soluciones por ejemplo análisis de torque, simulación tolerancias de diseño, etc.
- Muestra la grafica de torque contra velocidad del propio eje.

Como se puede apreciar en la figura 4.14 todos los rangos de las variables analizadas para valores máximos, están dentro del rango de funcionamiento; es por ello que el modulo didáctico propuesto no presentara ninguna problema cuando se encuentre en funcionamiento.

4.3 Software de control de movimiento para Drives [27]

Por el momento no existe ningún software de AB que nos ayude a realizar el análisis de control de movimiento que de un Drive como el Power Flex40. Debido a que el drive se selecciona en base a la potencia del motor jaula de ardilla, para realzar su análisis se tomaran como parámetros principales los del motor jaula de ardilla y los perfiles de movimiento serán como los vistos en la sección 3.2.5.

PowerFlex40

Es un dispositivo ideal para controlar la velocidad de motores, su flexibilidad y facilidad de uso brindan una gran versatilidad para una aplicación que requiera el control de velocidad. El Powerflex 40 consta de: Un teclado de control, potenciómetro y un display que permiten programarlo manualmente, y una interfaz DeviceNet que permite configurar los parámetros mas común mente ocupados en el control de velocidad.



Figura 4. 15 PowerFlex40

En el presente capítulo se desarrollo un análisis sobre el comportamiento que se espera obtener del sistema de guía o servo-drive, utilizando como principal herramienta el Software Motion Analiser, posteriormente se analizo en forma general el comportamiento del sistema de carrete o drive, aunque dicho sistema no cuenta con un software para su correcto análisis. Una vez desarrollado el análisis del comportamiento deseado y la confirmación del buen desempeño de la aplicación se puede proceder con la conexión y configuración de cada uno de los sistemas que son requeridos por la maqueta, tal como se observa en el capítulo siguiente.

Cap.5

Configuración del sistema de control de movimiento

En el presente capítulo se describe de manera breve la conexión y configuración de los principales módulos, tales como: configuración del PAC, de las redes de comunicación Ethernet, SERCOS y DeviceNet, y algunos puntos importantes a considerar.



CAPÍTULO 5. PRUEBAS Y CONFIGURACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL DE MOVIMIENTO

5.1 Software de configuración y redes [27]

El software requerido para la configuración de los Drives y Servo-Drives es el siguiente:

- **Rslinx:** Configuración entre PAC y computadora.
- **Boot:** Asignación de IP al PAC (interactúa directamente con el RsLinx).
- **Networks for Devicenet:** Configuración entre PowerFlex40 y PAC o DeviceNet.
- **Software de programación RsLogix 5000:** Programación y configuración de PAC, SERCO, DeviceNet.

Rslinx

El software RSLinx es un servidor de comunicación completo que proporciona conectividad a los dispositivos del área de planta para una amplia variedad de aplicaciones de Rockwell Software, tales como el RSLogix 5/500/5000, RSView Enterprise Serie y RSSql/RSBizWare. Además, de proporcionar varias interfaces abiertas para diferentes productos de otros fabricantes como HMI, paquetes de recolección y análisis de datos. El software RSLinx permite que varias aplicaciones de software se comuniquen simultáneamente con una serie de dispositivos en muchas redes diferentes.

DeviceNet

La red DeviceNet es una red de trabajo que da conexión entre dispositivos industriales simples (por ejemplo sensores y actuadores) y dispositivos de alto nivel (Como por ejemplo PLC y computadoras).

La Devicenet utiliza el probado Common Industrial Protocol (CIP) para hacer control, configurar y recolección de datos de las capacidades de dispositivos industriales.

- El uso del protocolo CIP permite la perfecta construcción de puentes y rutas en tre Ethernet/ip, ControlNet, Devicenet, etc.
- Las redes flexibles de trabajo trabajan con diferentes equipos de diversos fabricantes.
- Puede fácilmente agregarse al sistema de control y monitoreo con la configuración de la terminal.



La conectividad directa provee una mejor comunicación entre los dispositivos, y un diagnóstico a nivel de dispositivos que sería imposible en el caso de interfaces entrada/salida cableadas.

Características

- Bajo costos como solución en una red de trabajo de dispositivos simples
- Los fabricantes permiten a los consumidores configurar dispositivos, control y coleccionar información con una simple red de trabajo.
- Incrementa la integración de sistemas de seguridad y aplicaciones estándar
- Reduce el tiempo muerto con una temprana detección de los problemas del comportamiento del sistema.
- Reduce el costo por mantenimiento con diagnósticos y emplazamiento de equipos automáticamente

Descripción del proceso de sincronización de ejes a través de Devicenet

La red DeviceNET conecta los dispositivos directamente al controlador sin la necesidad de cables del módulo de entrada salida (I/O) o usa una conexión por comunicación serial para transmitir la información. Más de 64 dispositivos pueden configurarse en una red de trabajo DeviceNET.

Ventajas de un Servo sistema

- Permite la comunicación multi-drop usando una red de trabajo de grado industrial para comunicarse.
- Minimiza las conexiones de transferencia discreta para entradas y salidas, esto reduce costo.
- Los cambios dinámicos son transmitidos para restablecer el valor del setpoint. Arranque y paro y leer información de retro alimentación.
- Proporciona configuración y cambio de los parámetros del Drive vía DeviceNet
- Minimiza el tiempo de respuesta del sistema brindando la capacidad para un producto hot-plug donde exista una red de trabajo.

Networks for Devicenet

La red DeviceNet conecta los dispositivos directamente al controlador sin la necesidad de cables del módulo de entrada salida (I/O) o usa una conexión por comunicación serial para transmitir la información. Más de 64 dispositivos pueden configurarse en una red de trabajo DeviceNET.

Ventajas de un sistema con DeviceNet

- Permite la comunicación multi-drop usando una red de trabajo de grado industrial para comunicarse.



- Minimiza las conexiones de transferencia discreta para entradas y salidas.
- Los cambios dinámicos son transmitidos para restablecer el valor del setpoint. Arranque y paro y leer información de retro alimentación.
- Proporciona configuración y cambio de los parámetros del draiver via DeviceNet.
- Minimiza el tiempo de respuesta del sistema brindando la capacidad para un producto hot-plug donde exista una red de trabajo.

Es por ello que para llevar a cabo la configuración de los dispositivos que se encuentran conectados en la red DeviceNet es necesario contar con un software especializado que sea capaz de generar un código que pueda ser comprendido por el PAC, dicho software especializado es el Networks for Devicenet, el cual se encarga de generar los controladores que usara el RsLogix 5000 para enviar o recibir información de los dispositivos que se encuadran conectados en la red Devicenet.

SERCOS

En el campo de los sistemas de control industrial, la interfaz de varios elementos debe proveer un medio para coordinar las señales y comandos enviados desde módulos de control. Mientras que una amplia sincronización es deseable por las entradas y salidas discretas, es especialmente importante en los controladores de movimiento donde sincronizar el movimiento de los ejes individuales debe ser precisamente coordinado.

La interfaz SERCOS (Serial Real-time Communication System), es una interfaz digital abierta globalmente estandarizada para la comunicación entre los controles industriales, dispositivos de control y dispositivos de entrada y salida.

SERCOS es una interfaz óptica en tiempo real en serie que proporciona la comunicación entre los controles industriales de movimiento y servoaccionadores digitales. SERCOS II fue desarrollada en 1999. Esta interfaz soporta velocidades de transmisión de 2, 4, 8, 16 Mbits/s por esa razón es la que se utilizara en los Servo-accionamientos Kinetix.

RsLogix 5000:

El software de programación para los PAC's lleva por nombre RSLogix5000 Enterprise, dicho software es utilizado para llevar a cabo la programación del CompactLogix 1768, así como también la configuración de la red SERCOS y DeviceNet.

Dicho software ha sido diseñado para funcionar con las plataformas Logix de Rockwell Automation. El software RSLogix 5000 es un paquete computacional que cumple con la normativa IEC 61131-3 y ofrece editores de lógica de escalera de relés, texto estructurado, diagrama a bloques de funciones y diagramas de función secuencial para

el desarrollo de programas de aplicación. Dichas aplicaciones pueden observarse en la figura 5.1.

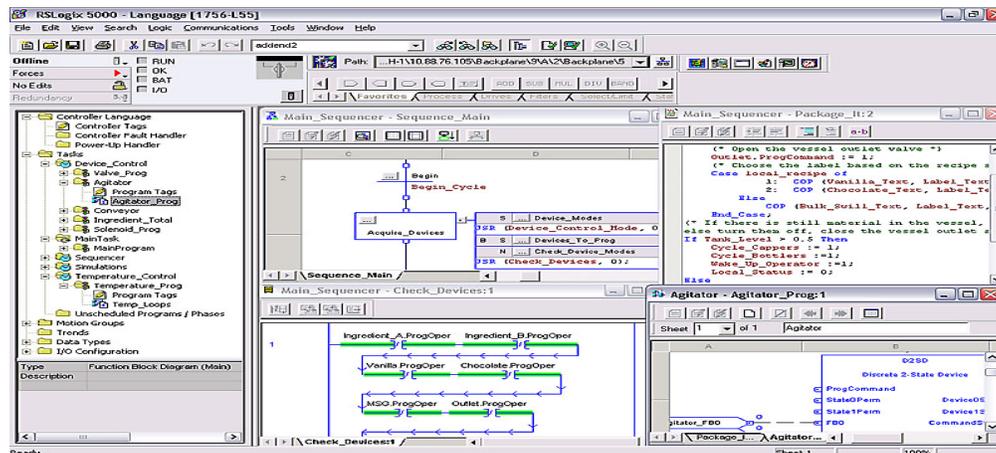


Figura 5. 1RSLogix5000

El software RSLogix 5000 incluye la capacidad de configuración y programación de ejes para el control de movimiento, control secuencial, control de procesos y control para variadores de velocidad (Drive).

5.2 Pruebas y Conexiones de los sistemas de Drives y control [13,15,16,19,20,21]

Antes de realizar cualquier configuración o programación en los Drives es necesario que se realicen las conexiones del PAC, Drives y todos los dispositivos necesarios para el control de movimiento y posteriormente las pruebas de módulos didácticos como son pruebas de continuidad, voltmetro y ampermetro, con el fin de localizar cualquier tipo de falla antes de la puesta en marcha del los módulos didácticos y comparar los planos de conexión con las conexiones reales, En este punto de la propuesta es importante definir que para todos los dispositivos existirán como mínimo 2 tipos de diagramas; diagramas de potencia y diagramas de control, esto con el objetivo de ayudar con la comprensión de cada uno de los sistemas que integraran el control de movimiento. Los diagramas de conexión para el proyecto propuesto son los siguientes:

1. Diagrama de Control PAC [Diagrama 2, Anexo 2]
2. Diagrama de Potencia PAC [Diagrama 3, Anexos 2]
3. Diagrama de Control Kinetix2000 (Servo-Drives) [Diagrama 4, Anexos 2]
4. Diagrama de Potencia Kinetix2000 (Servo-Drives) [Diagrama 5, Anexos 2]
5. Diagrama de Control PowerFlex40 (Drives) [Diagrama 6, Anexos 2]
6. Diagrama de Potencia PowerFlex40 (Drives) [Diagrama 7, Anexos 2]

Todas las conexiones es tan basadas en el diagrama general propuesto para la bobinadora [Diagrama 1, Anexos 2].(Ver figura 5.2)

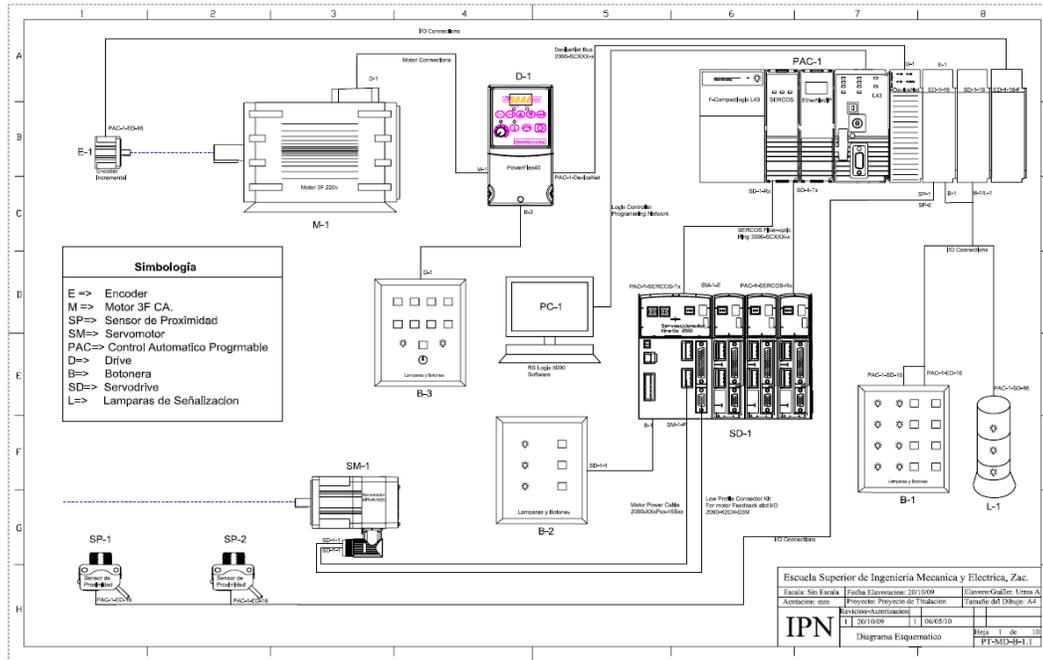


Figura 5. 2 Diagrama propuesto para sincronización de Drives

5.3 Instalación del firmware del controlador [32]

Antes comenzar con cualquier configuración es importante saber que el controlador Compactlogix L43 no tiene instalado el firmware, el cual depende de la versión de RSLogix 5000 que estemos usando. Es por ello que el primer paso es configurar el RSLinx como se muestra en la sección 5.4, unas ves configuradas se puede proceder con la descarga del Firmware del Compactlogix L43 a través de la descarga de un programa de prueba con el RSLogix 5000.

Nota. Cabe mencionar que la descarga del Firmware es un proceso muy delicado y de suma importancia, pues este proceso modificara el sistema operativo del Compactlogix. Si dicho proceso es interrumpido súbitamente el dispositivo podría dañarse, es por ello que para la instalación del Firmware se recomienda inhabilitar todas las aplicaciones que pueden causar algún problema con Windows y por otra parte un No-brake para el respaldo de la alimentación si en algún momento dado esta llega a fallar.

5.4 Configuración de RSLinx

Antes de comenzar con la configuración y programación de los Drives es necesario establecer la comunicación entre la computadora y el PAC, dicho procedimiento se describe en la siguiente sección.

El procedimiento de configuración de Computadora&PAC debe realizarse a través del software de configuración RSLinx.

Paso 1. Revisar que las conexiones entre el PAC y la Computadora se hayan realizado según lo visto en el sección 5.2.

Paso 2. Abrir el RSLinx para establecer la comunicación entre el PAC y la computadora

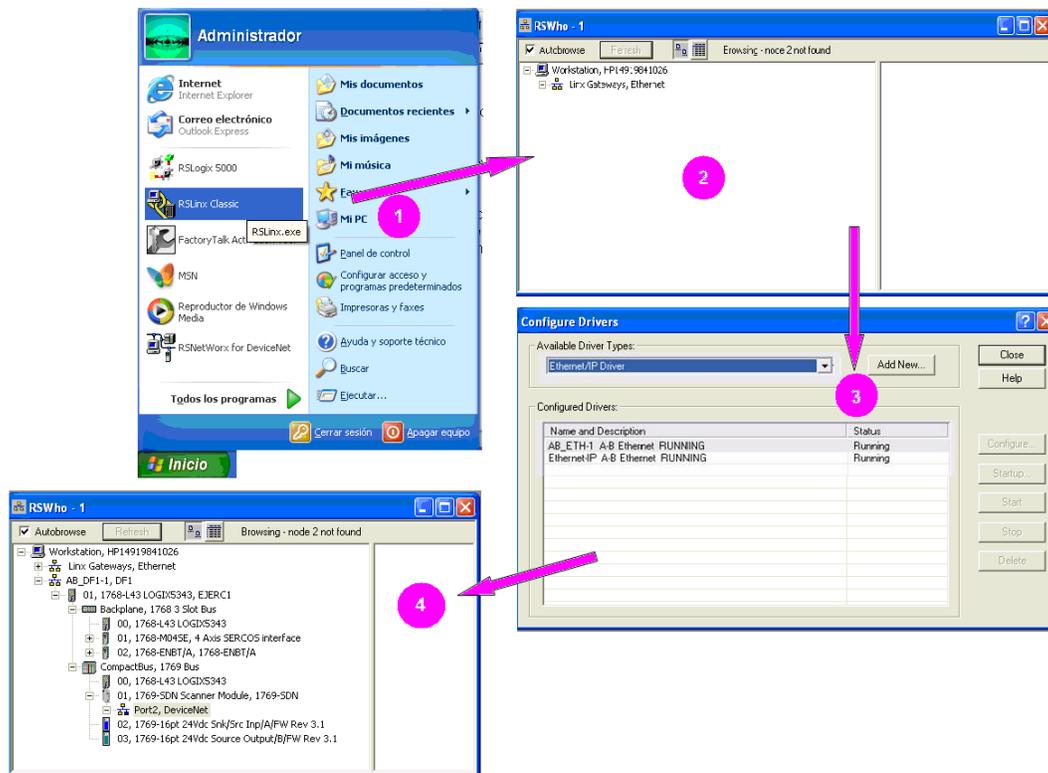


Figura 5. 3 RSLinx configuración

Como se puede observar en la primera parte del paso se abre el RSLinx Figura 5.3.1 y se genera una ventana nueva la cual se encuentra vacía debido a que no se ha configurado el tipo de protocolo ni los dispositivos que interactuarán con la computadora Figura 5.3.2.

El siguiente paso es iniciar con una nueva comunicación en Ethernet (Ver figura 5.3.3), no se recomienda una utilizar RS232 por que la configuración de Servo-Drives requiere de un protocolo de comunicación capaz de transmitir gran cantidad de información en poco tiempo, es por ello que se recomienda el uso del Protocolo Ethernet IP. Con este protocolo se podrá transmitir información sin que la computadora salga de secuencia al conectar los Servo-Drives.

Nota.- Si el PAC específicamente la tarjeta de Ethernet no cuenta con una dirección IP fija será necesario asignarle una dirección, la manera más sencilla de asignar la

dirección es por medio del BOOTP/DHCP, el cual trabaja por medio de la MAC del la tarjeta de Ethernet del PAC (Ver figura 5.4).

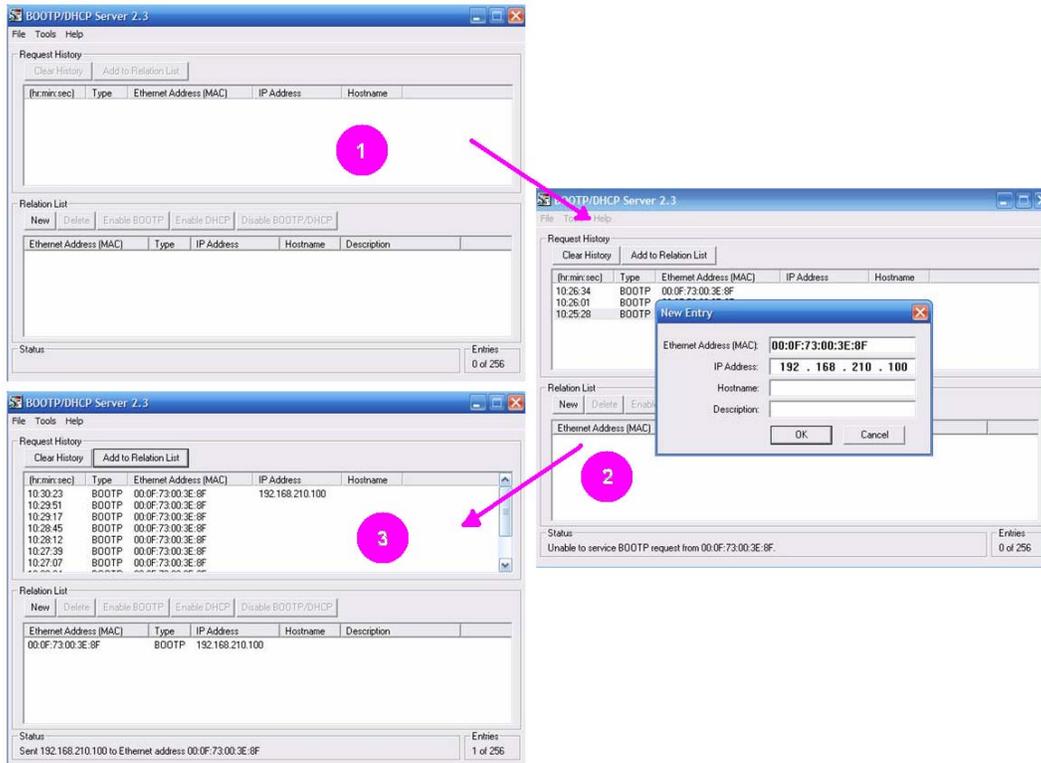


Figura 5. 4 Configuración del BOOTP/DHCP

Nota. Con el BOOTP/CDP se asigna solo una IP temporal, si se desea asignar una IP fija al dispositivo tendrá que configurar la tarjeta de Ethernet del PAC, desde el RSLinx

Una vez que la computadora y el PAC tienen sus direcciones IP, se procede con la configuración de la red Ethernet. Si la red Ethernet trabaja de manera correcta y la computadora y el PAC están en línea, se generará el diagrama en cascada que nos muestra todos los dispositivos que se encuentran conectados encada uno de los Slot's del PAC (Ver figura 5.3.4 ó 5.5).

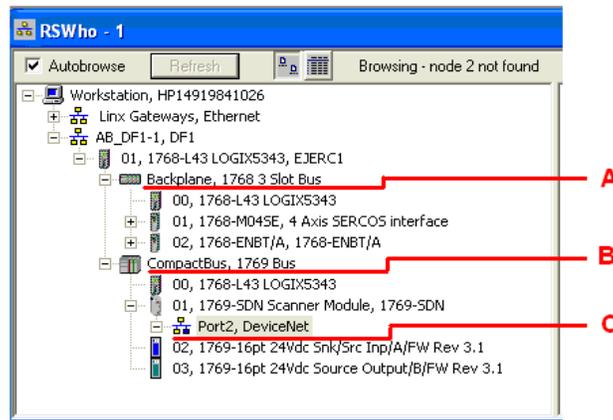


Figura 5. 5 Descripción del Diagrama en cascada

Es importante notar cómo se muestra en la figura 5.5 que el diagrama en cascada está encabezado por el controlador en este caso 1768-L43 y de este se desglosan dos buses.

- A) **Backplane:** este bus toma como parte medular al controlador 1768-L43, pero solo puede agregar dos tarjetas más, las cuales son: para la red SERCOS Y Ethernet. Como se observa este bus está enfocado a la configuración de redes de comunicación.
- B) **Compactbus:** este bus toma como parte medular al controlador 1768-L43, pero a diferencia del Backplane, este bus se enfoca en la configuración de dispositivos complementarios como son tarjetas de entrada, salida y Devicenet. Esto lo hace el bus de tarjetas especializadas, donde cada tarjeta solo tiene una función y si se requiere otra función será necesario agregar más tarjetas.

Como se puede observar en el diagrama en cascada la tarjeta de DeviceNet está conectada en el Compactbus debido a que se considera como un dispositivo complementario, dicha tarjeta está diseñada como escáner para los dispositivos de Devicenet.

- C) Cuando se desglosa el contenido de la tarjeta de Devicenet se observa que no existe ningún dispositivo conectado, aunque físicamente si lo estén, esto se debe a que no se configurado la red DeviceNet, Ver sección 5.4 para configuración de la red Devicenet

5.5 Configuración de la red DeviceNet

Paso 3: Abrir el RSNetworks for Devicenet para establecer la comunicación entre el PAC y todos los dispositivos conectados en la red Devicenet (Ver figura 5.6).



Figura 5. 6

Paso 4: Una vez abierto el RSNetWorks for DeviNet se abre un nuevo proyecto, posteriormente se escanea la red Devicenet, seleccionando del diagrama de árbol el Modulo de escáner para Devicenet, ver figura 5.7., el programa comenzara un escaneo de todos los dispositivos que se encuentren conectados en ese momento en la red.

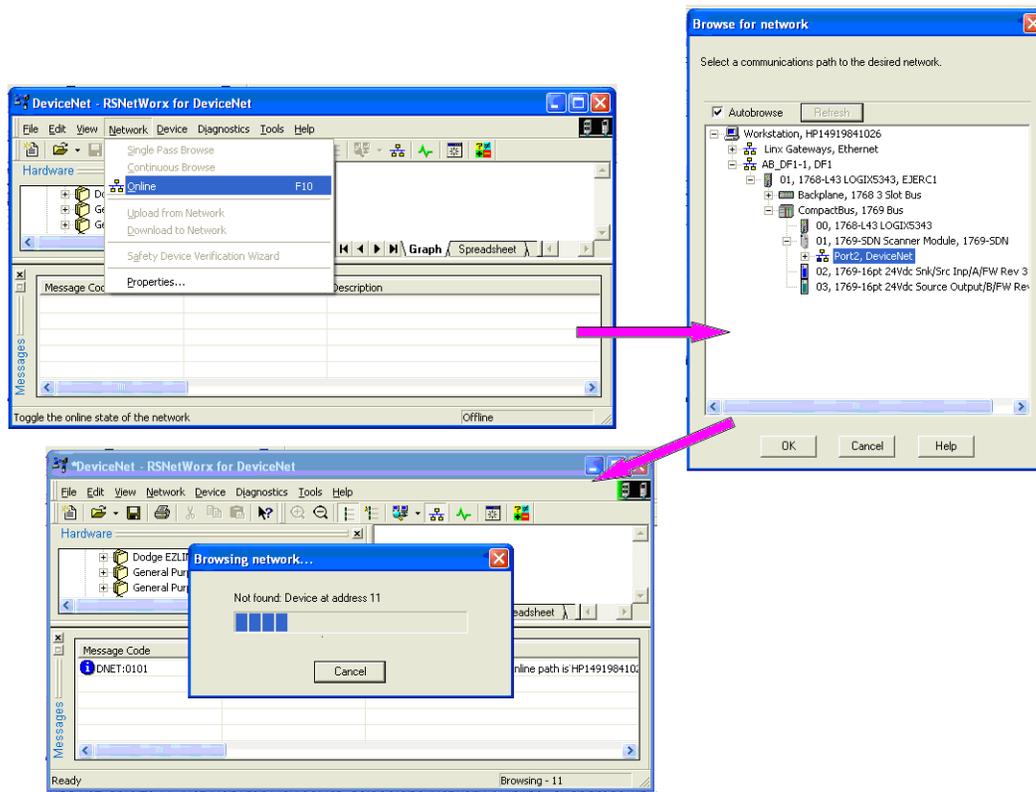


Figura 5. 7 Escaneo de la red DeviceNet

Una vez que el escáner haya terminado de revisar todos los nodos posibles de la red DeviceNet se generara un bus que contendrá todos los dispositivos encontrados, si los dispositivos encontrados por el escáner son los mismos que los instalados físicamente es que no a existido ningún problema en la sincronización de los dispositivos y el escáner del PAC como se muestra en la figura 5.8.

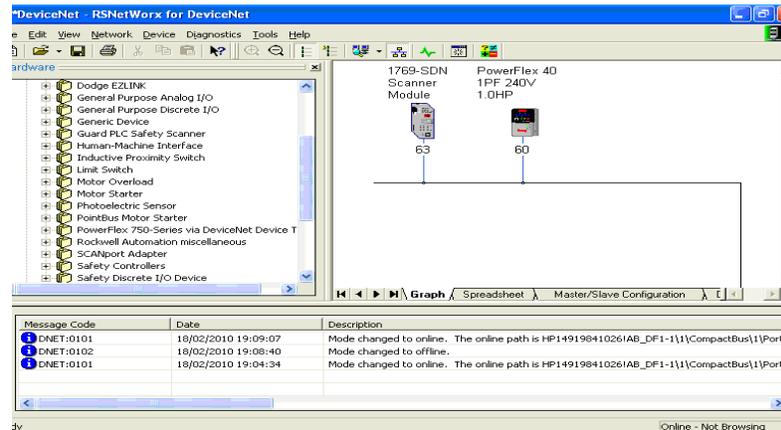


Figura 5. 8 Bus DeviceNet

Como se puede observar en la figura 5.8 la red DeviceNet está integrada por dos dispositivos, en el nodo 63 el escáner y en el 60 el PowerFlex40.

Nota. En dado caso que el PowerFlex40 no fuera detectado de forma correcta por el Software será necesario configurar su archivo EDS a través del EDS Wizar Rockwell para que el software sea capas de sincronizar el dispositivo al escáner,

Paso 5: Una vez sincronizados todos los dispositivos que integran la red DeviceNet dentro del software RSNetWorks for DeviNet se debe crear una lista de escaneo, en esta lista solo se definen los dispositivos que participaran en la parte operativa de nuestro proyecto, la manera de crear una lista de escaneo es de la siguiente manera.

Dentro de las propiedades del modulo de escaneo se encuentran las propiedades para establecer la lista a escanear (Ver figura 5.9).

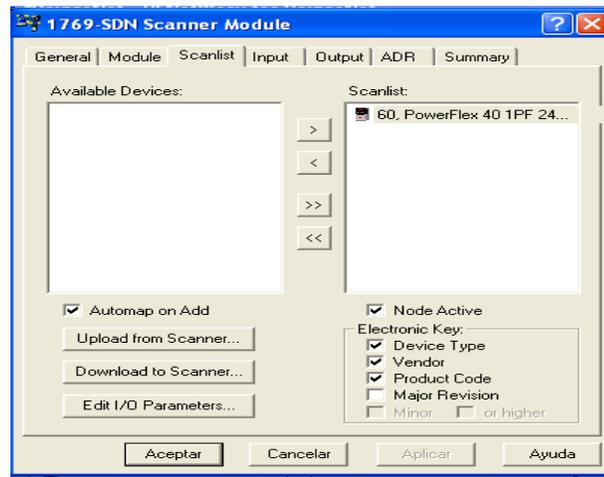


Figura 5.9 Lista de escaneo

Dentro de las propiedades del Powerflex40 se encuentran todos los parámetros que pueden ser operados para modificar el funcionamiento del Powerflex40 y los estados actuales de dichos parámetros.

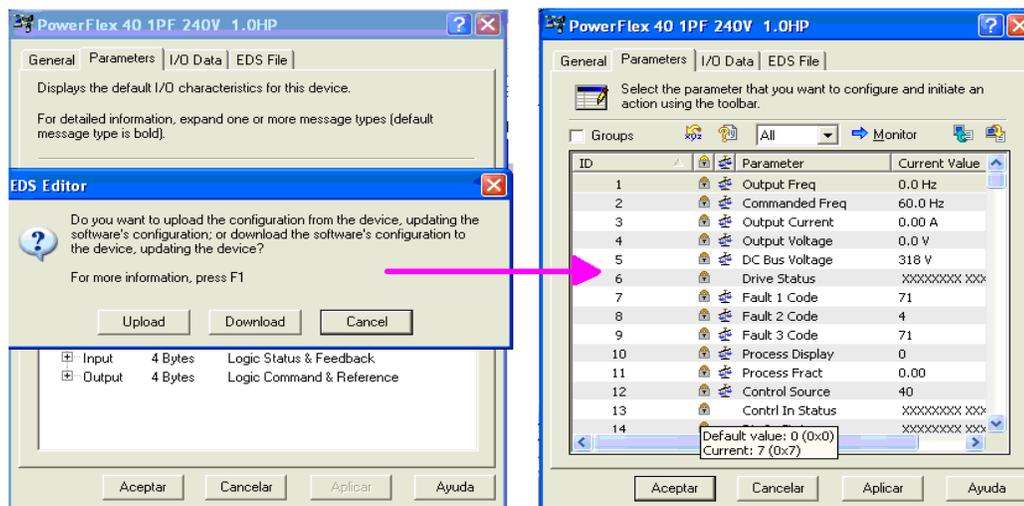


Figura 5.10 Parámetros del Powerflex40

5.6 Configuración del sistema RSLinx5000

Una vez creado el proyecto de trabajo como se verá en el capitulo 6.1. Se procede con la configuración de cada una de las tarjetas que están instaladas en Backplane y Compactbus, para que el controlador tome control de todas ellas. Las tarjetas propuestas a utilizar son las siguientes:

Tabla 5.1 Tarjetas PAC	
Controlador	
CompactLogix 1768-L43	
Backplane	Compactbus
Tarjeta Ethernet 1768-ENBT/A	Entradas Digitales 1769-IQ16/A
Tarjeta SERCOS 1768-M04SE	Entradas Rápidas Digitales 1769-IQ16F/A
	Salidas Digitales 1769-OB16/B
	DeviceNet 1769-SDN/A

Todas las tarjetas son introducidas en la carpeta de entradas y salidas de nuestro proyecto Ver figura 5.11:

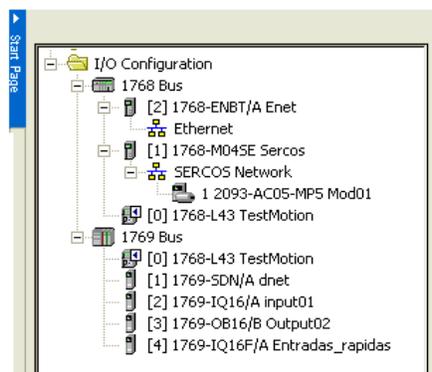


Figura 5. 11 Configuración de tarjetas para el PAC

5.7 Configuración de la red SERCOS [22]

Una vez creado el proyecto de trabajo y configurado como se vio en la sección 5.6, se procede con la configuración de la red SERCOS.

Para la configuración de esta red no existe ningún programa especial como el RSNetWorks for Devicenet, es por ello que toda la configuración debe realizarse desde el RSLogix5000, y la manera de hacerlo es la siguiente:

Lo primero es añadir el modulo kinetix 2000 que está conectado a la red SERCOS y que será usado para el proyecto, para mayores referencias ver figura 5.12. (Tarjeta 2093-AC05-MP5).

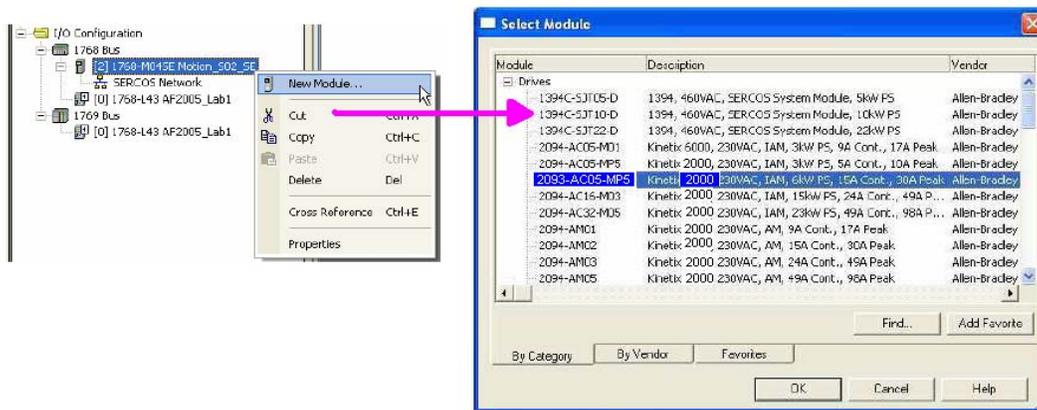


Figura 5. 12 Nuevo modulo Kinetix2000

De esta manera se agrega el Servo-Drive a la red SERCOS.

El siguiente paso es la configuración de los ejes de movimiento, en este caso solo existe uno y es para el sistema de Guía, la manera de configurar un eje de movimiento es como se muestra en la figura 5.13

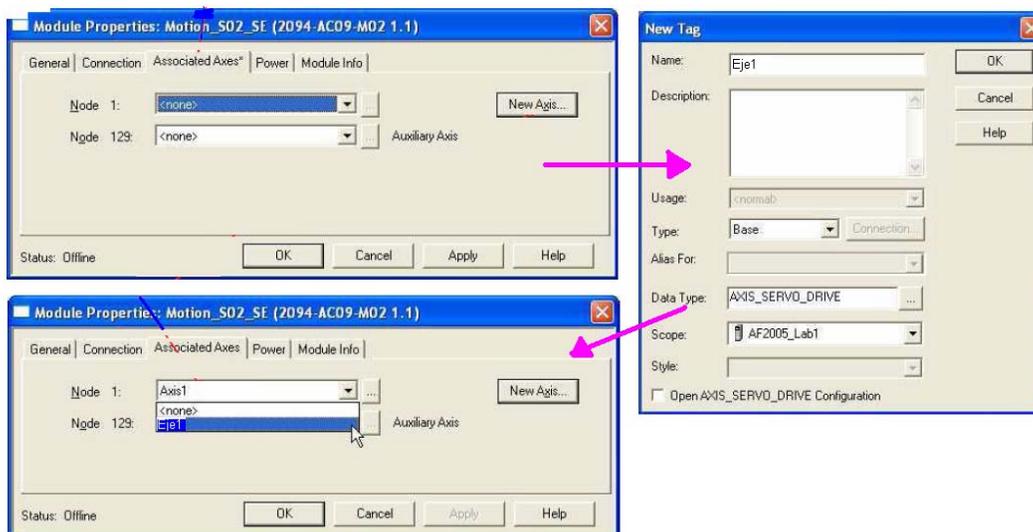


Figura 5. 13 Configuración de un eje de movimiento

De esta manera se crea un eje de movimiento que se llama “Eje 1”, en este eje se alojaran todos los valores referentes al Kinetix2000 tarjeta 2093-AC05-MP5, El siguiente paso es crear un grupo de ejes de movimiento, aunque en esta propuesta solo se ocupa un eje de movimiento para mayores referencias ver figura 5.14.

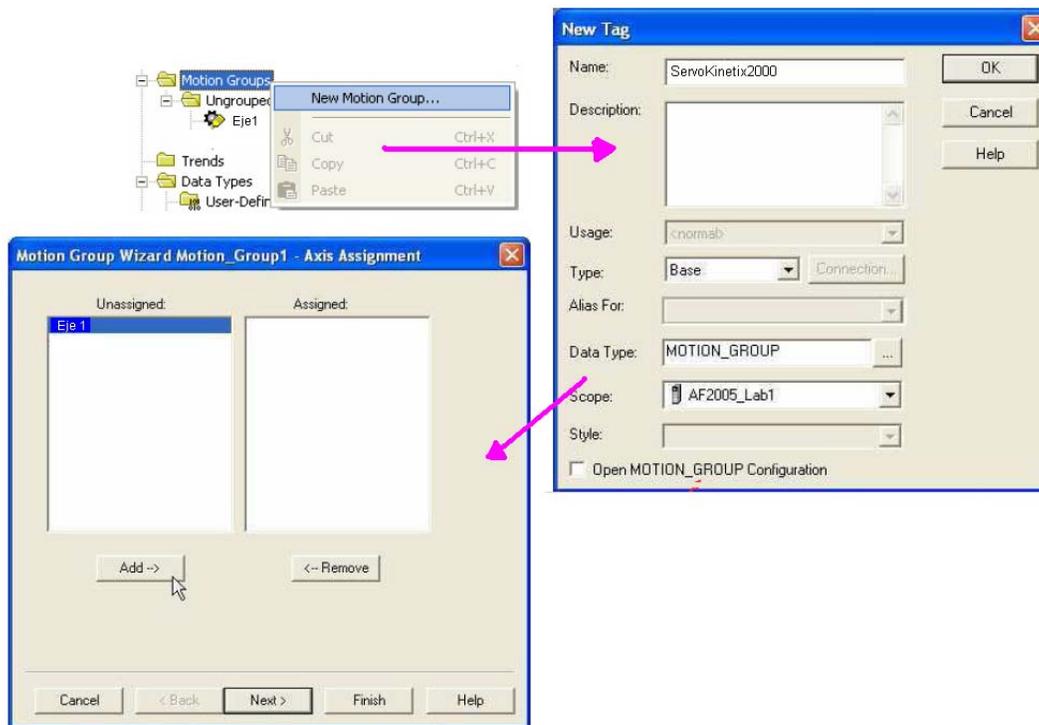


Figura 5. 14 Grupo de ejes de movimiento

Des esta manera se crea un grupo de ejes de movimiento aun que en este caso solo exista 1(Figura 5.15).



Figura 5. 15 Grupo de ejes de movimeinto

Por ultimo se procede con la configuración de las propiedades del eje de movimiento, donde las más importantes (Ver Figura 5.16 y 5.17) son:

- Grupo y eje de movimiento
- Unidades de movimiento
- Tipo de movimiento
- Servo-accionamiento

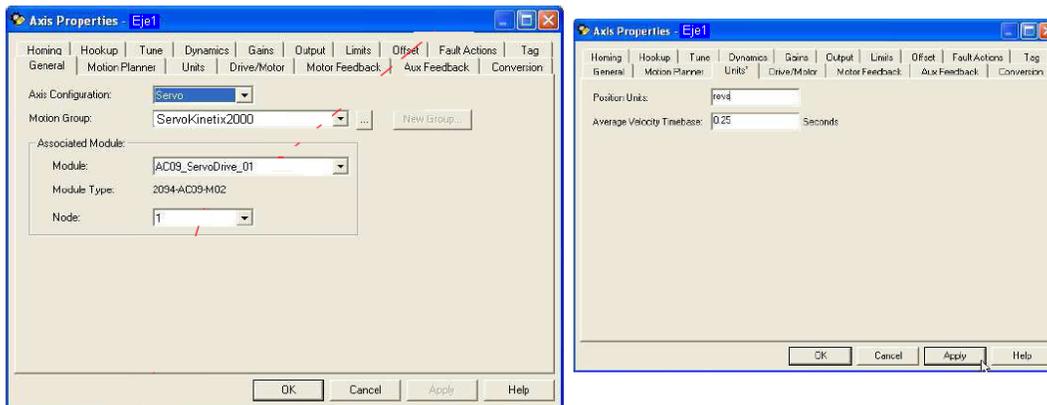


Figura 5. 16 Grupo de movimiento y Unidades referentes al movimiento

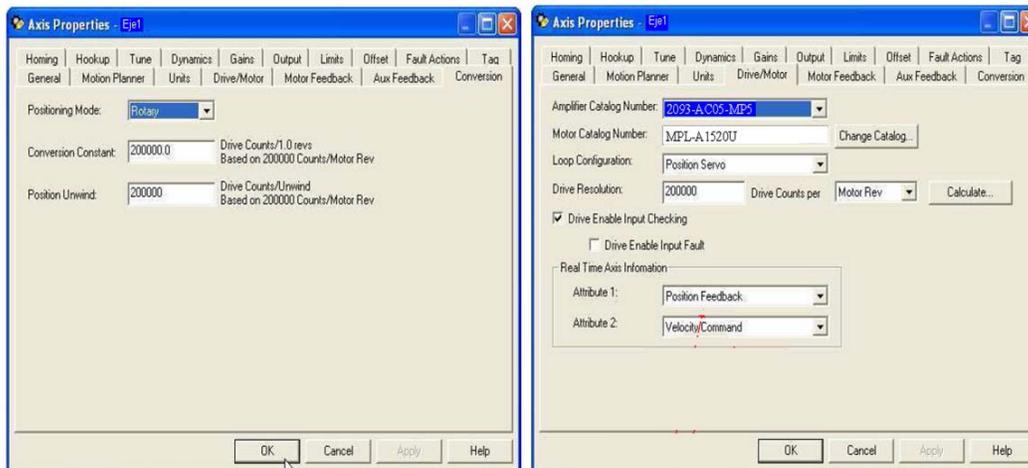


Figura 5. 17 Tipo de movimiento y Servo-accionamiento

Nota. La manera más fácil de comprobar si la red SERCOS y los dispositivos se encuentran funcionando de manera correcta es mediante la ejecución de comandos directos, para el “Eje1”.

El capítulo 5, se enfocó en la conexión de todos los dispositivos de control y potencia que son requeridos para poner en marcha el módulo didáctico, como segundo punto se realizó la configuración y análisis de los Drive’s con el fin de preparar dichos dispositivos para su programación, la cual se muestra en el capítulo siguiente.

Cap.6

Programación del sistema de control de movimiento

En el presente capítulo se describe de manera breve la programación de los principales módulos, tales como: PowerFlex40 y Kinetix2000, centrándose en la programación básica para el control de movimiento y la sincronización de ejes, también se incluyen algunos puntos importantes a considerar.



CAPITULO 6. PROGRAMACIÓN DEL CONTROL DE MOVIMIENTO

6.1 Creación del proyecto de sincronización de ejes [22,18]

Para la creación de un nuevo proyecto en RSLogix 5000, será necesario inicializar dicho programa y posteriormente crear nuevo proyecto con las características que se muestran en la figura 6.1

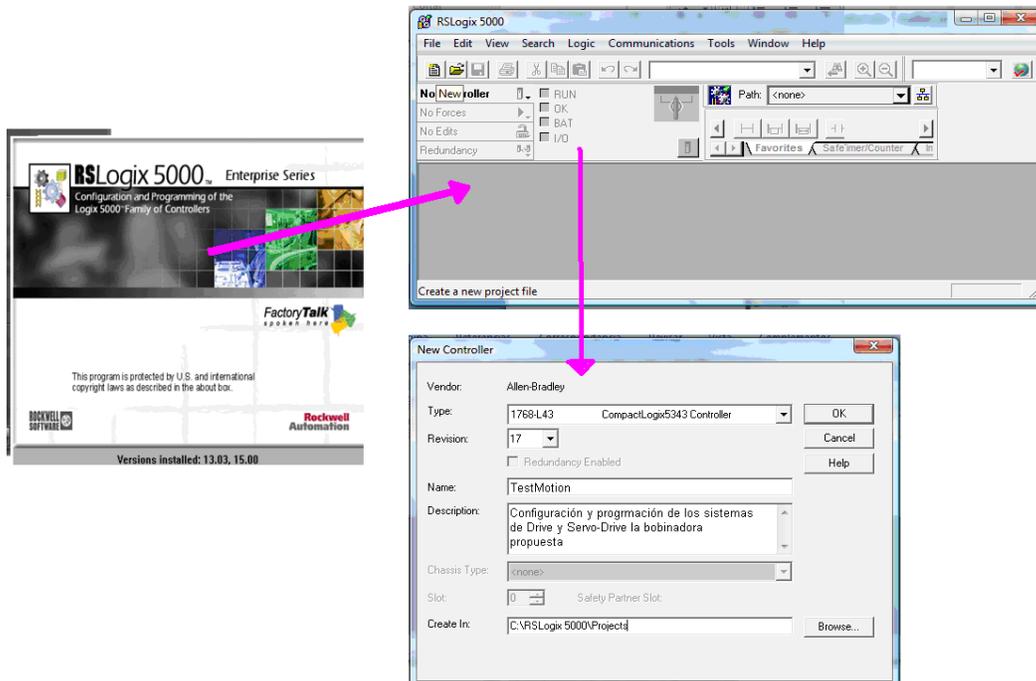


Figura 6. 1 Nuevo proyecto RSLogix5000

Como se muestra en la figura 6.1 el proyecto a ejecutar tendrá los siguientes parámetros: un controlador 1768-L43 CompactLogix (controlador propuesto para la aplicación), Revisión 17 (es la versión con que se cuenta en los laboratorios y la única que soporta la aplicación del Kinetix2000), el nombre de nuestro proyecto será “TestMotion”.

Con las características que se proponen, el RSLogix 5000 genera un área de trabajo adecuada con las funciones disponibles para el controlador y en la cual podremos diseñar el control para la bobinadora propuesta (Ver figura 5.2).

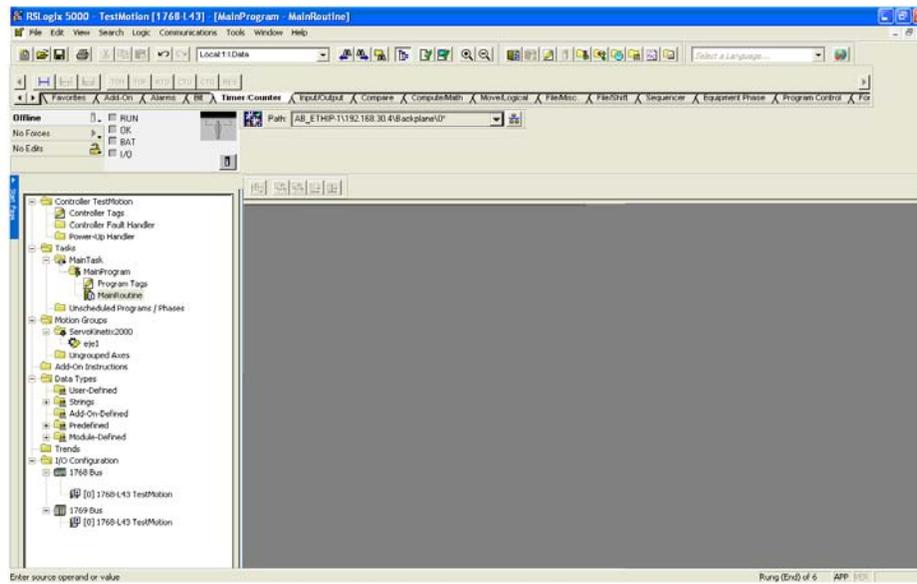


Figura 6. 2 TestMotion MainProgram sin asignación de tarjetas

Una vez generada el área de trabajo se procede con la configuración de cada una de las tarjetas que integran el sistema de control ver tabla 5.1 para selección de tarjetas. Y finalmente se obtiene como resultado un programa con todas las tarjetas instaladas en el CompactLogix Ver figura 6.3.

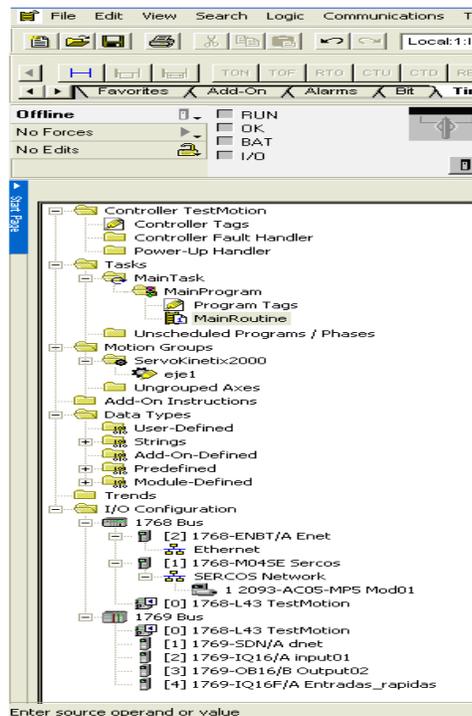


Figura 6. 3 TestMotion MainProgram con asignación de tarjetas



Una vez terminada la configuración de tarjetas, se procede con la programación de del proyecto, para la ejecución del control de movimiento y sincronización de ejes.

Nota. Para hacer mucho más sencilla la comprensión de la programación, dicha programación se dividirá en tres secciones las cuales son: Programación PowerFlex40, Kinetix2000 y Sincronización de ejes. Por otra parte antes de comenzar con la programación será necesario ajustar algunos parámetros del Kinetix2000, debido a que la configuración de la red SERCOS es una red de configuración se parada como se estudio en la sección 5.7.

Características principales del Control Organizaizer o diagrama en cascada:

El Controller Organizer (*organizador del controlador*) es una representación gráfica del contenido del proyecto de su controlador. Desde aquí puede verse el directorio de carpetas y archivos que contienen toda la información sobre los programas y datos del archivo del controlador actual. Las carpetas principales que aparecen por defecto en el Control Organizer son:

- **Controller File Name:** Contiene los tags al alcance del controlador, así como las rutinas para gestionar los fallos del controlador y la alimentación.
- **Tasks:** En esta carpeta se muestran las tareas. Cada tarea muestra sus propios Tags y programas con sus rutinas, programadas en cualquiera de los 4 lenguajes disponibles.
- **Motion Groups:** En esta carpeta, se encuentran grupos de ejes asociados entre sí y separados en grupos. Además, se encuentran ejes no agrupados, es decir, ejes que todavía no han sido asignados a ningún grupo en particular. Puede asignar
- **Trends:** En esta carpeta se muestran los gráficos de tendencia de los tags que el proyecto requiera.
- **Data Types:** Muestra los tipos de datos predefinidos y los definidos por el usuario.
- **I/O Configuration:** Contiene información sobre la configuración del hardware del proyecto. Y están organizados en orden jerárquico según el bus en el que se encuentren y el slot físico que ocupan para el proyecto.

Un punto importante antes de comenzar con la programación es tomar en cuenta que los la red SERCOS no exige un tiempo de referencia es por ello que debe asignarse al controlador como controlador maestro del tiempo en el sistema. Porque que puedan sincronizarse todos los módulos del chasis del Compactlogix.

6.2 Programación y Distribución general

Para hacer más fácil la programación y distribución de la información en un proyecto, donde se controlan diferentes dispositivos, es recomendable crear carpetas de programación para cada uno de esos dispositivos, esto mantendrá limpio nuestro proyecto y con una estructura fácil de entender y analizar.

La creación de carpetas nos ayuda a delimitar ciertas características, como son; los Tags, con la creación de una carpeta se asigna tags que solo fungirán dentro de la carpeta donde fueron creados si a si se desea, esto con el fin de tener todas las variables del proyecto por separado y solo asignadas a una parte del proyecto en específico. Por otra parte la creación de carpetas también no ayuda a definir diversos programas principales, sin la necesidad de usar subrutinas, esto con el fin de dividir la información de la programación en pequeñas secciones de fácil análisis. En la figura 6.4 se observa como en el Organizador del controlador se han creado dos carpetas aparte de la principal.



Figura 6.4 Controller Organizer del proyecto TestMotion

Las carpetas creadas son la ProgKinetix2000 (B) y ProgPowerFlex40 (C) como se puede observar cada una de las carpetas creadas subcarpeta de Tags y Un programa principal en escalera. La Carpeta MainProgram es la carpeta creada por default y como las otras dos, cuenta con las mismas subcarpetas y el programa principal.

Nota. Cada Program Tags de las tres subcarpetas A, B y C , solo puede ser ocupado por los programas definido dentro de las subcarpetas, sin importan en que lenguaje de programación se deseen utilizar. Por otra parte si se desean tags que puedan ser usados por todas las subcarpetas será necesario asignar dichos tags a la carpeta de general del proyecto, en este caso “TestMotion”.Se recomienda asignar cada tag según se utilice.

6.3 Programación del Drive PowerFlex40

Una vez creadas la subcarpeta para la programación básica del PowerFlex40 se procede con la programación. La programación en este caso es a través del leguaje en escalera y todas las instrucciones usadas son instrucciones básicas para que el Drive Powerflex40

pueda funcionar. La figura 6.5 muestra la programación propuesta para el Drive PowerFlex40.

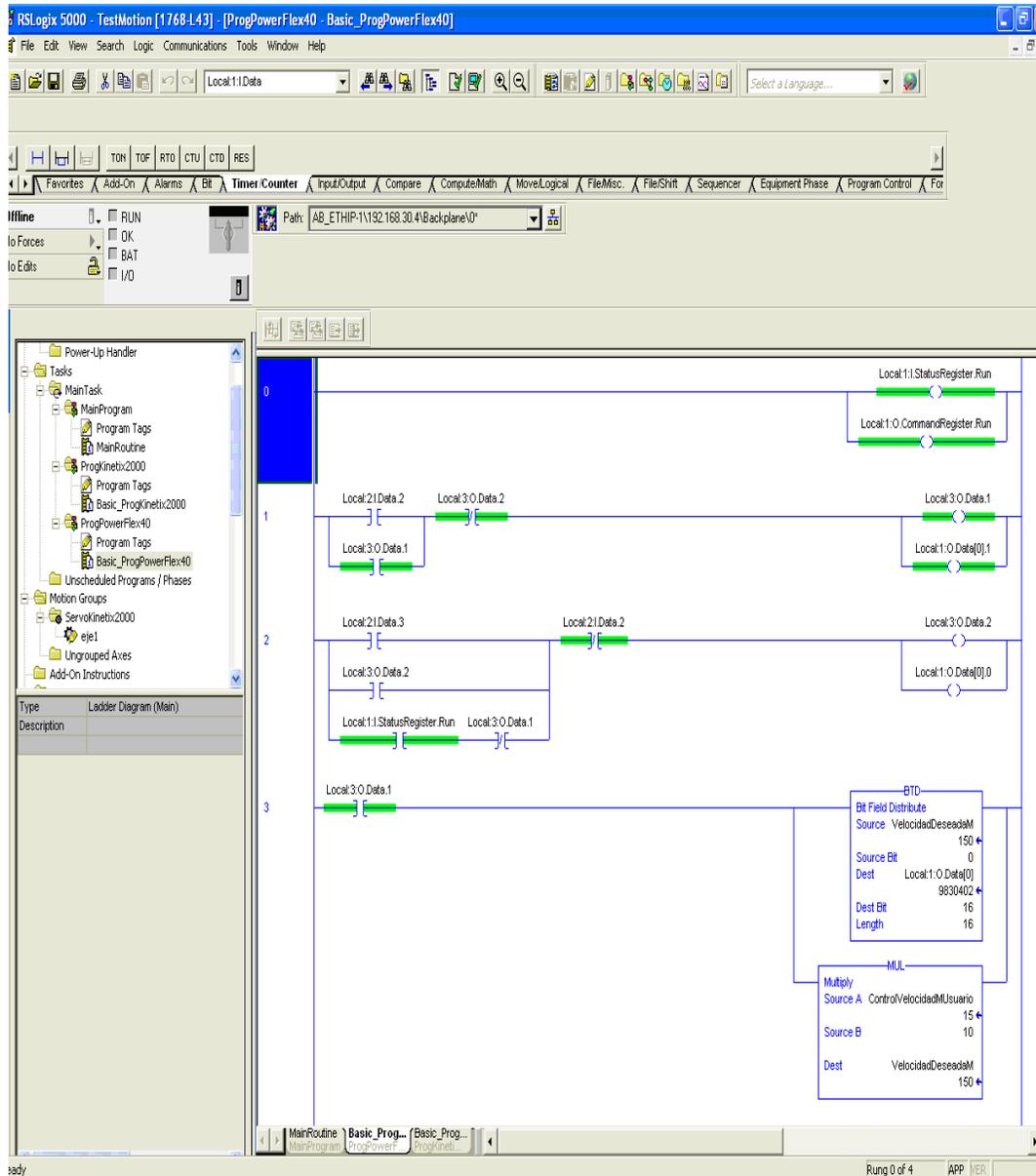


Figura 6. 5 Programa básico PowerFlex40

El programa Basic_ProgPowerFlex se divide de la siguiente manera:

- La línea 0 habilita la red Devicenet, en otras palabras el programa TestMotion toma control de la red Devicenet,
- Las líneas 1 y 2 toman valores de la tarjeta Entradas, Salida, para el arranque, paro y señalización del Drive PowerFlex40.

- La línea 3 asigna la frecuencia deseada al PowerFlex40, para asignar la velocidad, es necesario dividir al Tag de Drive en dos partes, ya que la primera parte contiene los valores de estados y la segunda valores de frecuencia, para mayores referencias ver sección 5.5 figura 5.10.

como se puede observar los requerimientos mínimos para poner en funcionamiento el powerflex o sistema de carrete se muestra en la el programa básico para el powerflex, en este programa se inicializa la red Devicenet, posteriormente se desarrolla

6.4 Programación del Servo-Drive Kinetix 2000

Una vez creada la subcarpeta para la programación básica del Kinetix2000 se procede con la programación. La programación en este caso es a través del lenguaje en escalera y todas las instrucciones usadas son instrucciones básicas para que el Drive Powerflex40 pueda funcionar. La figura 6.6 muestra la programación propuesta para el Servo-Drive Kinetix2000.

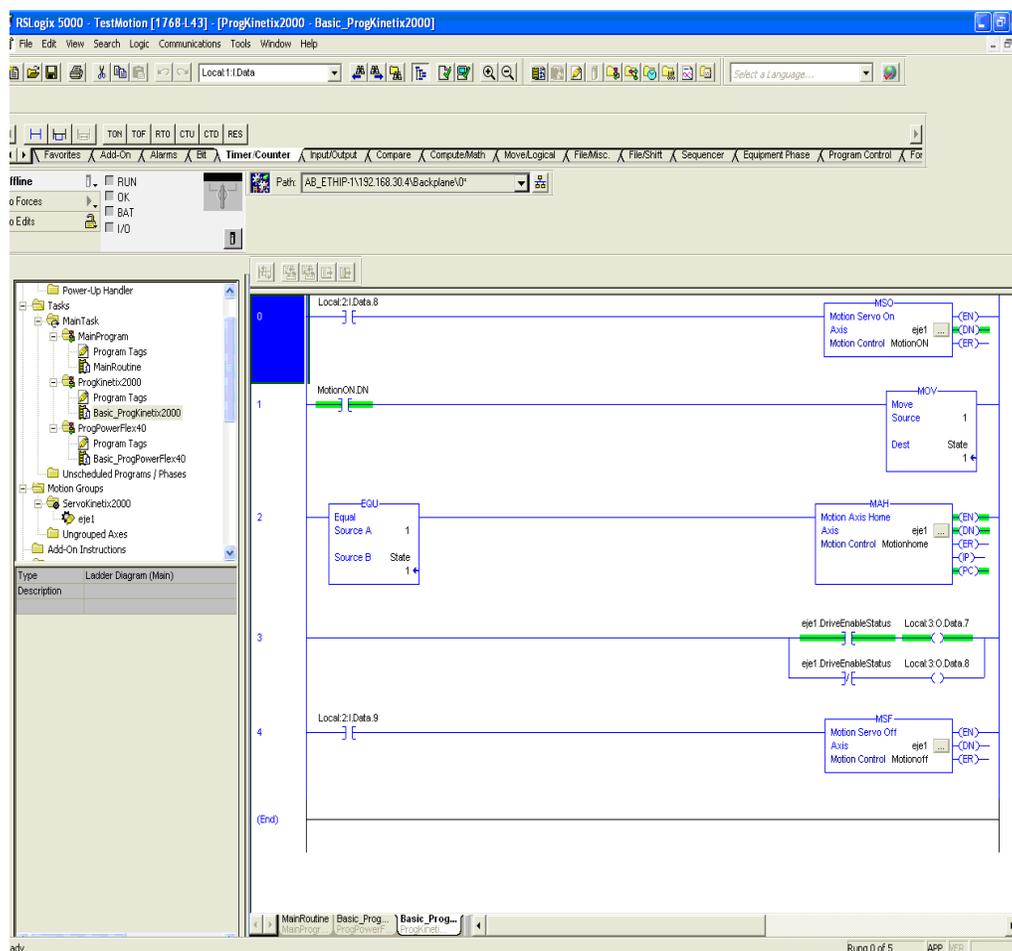


Figura 6. 6 Programa básico Kinetix2000

El programa Basic_ProgKinetix2000 se divide de la siguiente manera:



- La línea 0 habilita el ServoDrive Kinetix2000.
- Línea 1 genera un tiempo muerto para la ejecución del comando accionamiento del eje, línea 2.
- Línea 3 habilita la señalización del ServoDrive Kinetix2000
- La línea 4 deshabilita el ServoDrive Kinetix2000 para mayores referencias ver la sección 5.6.

6.5 Programación de la sincronización de ejes

Una vez programadas las rutinas básicas para los dos Servos, se procede con la programación para el sincronizado de ejes de movimiento. La figura 6.7 muestra la programación propuesta para los Drives

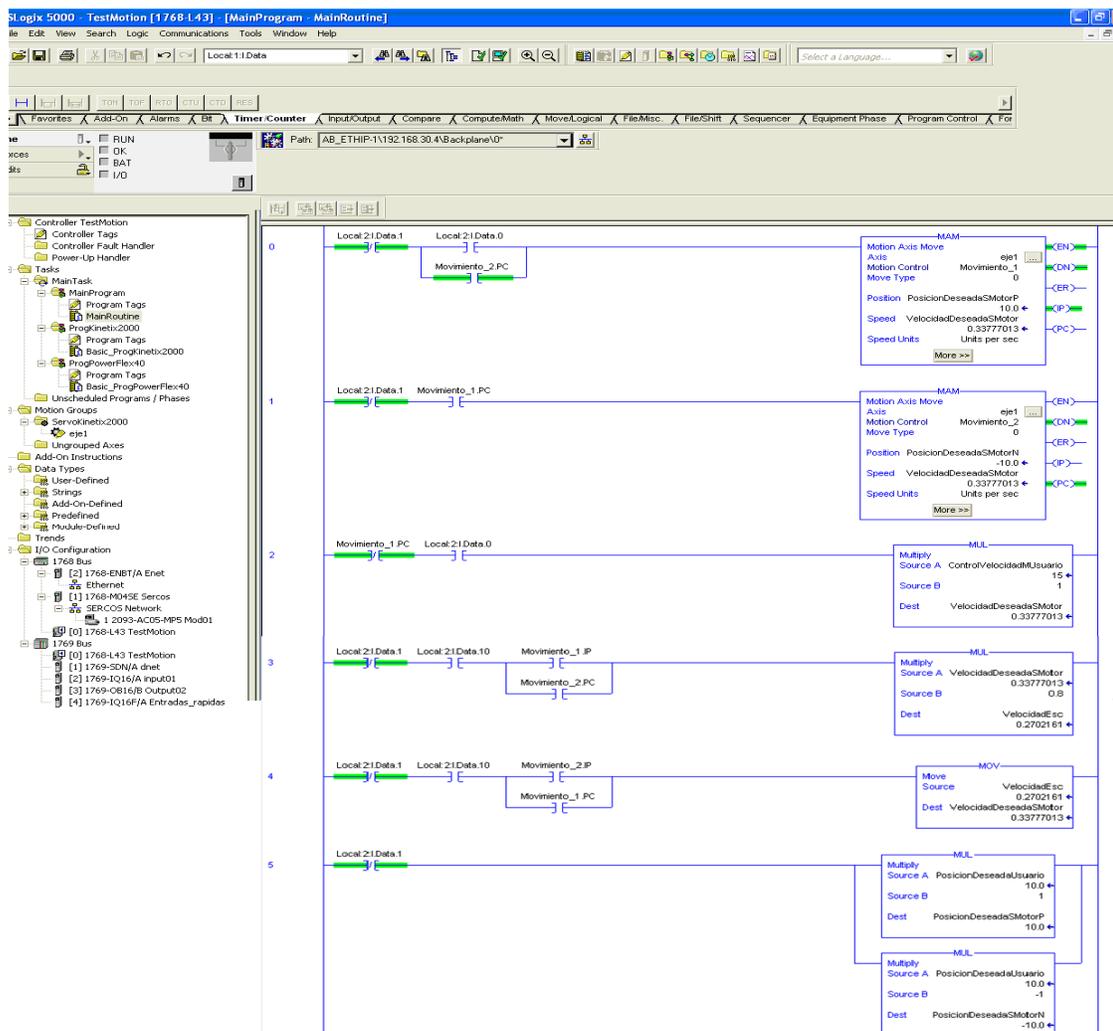


Figura 6. 7 Programa para sincronización de ejes

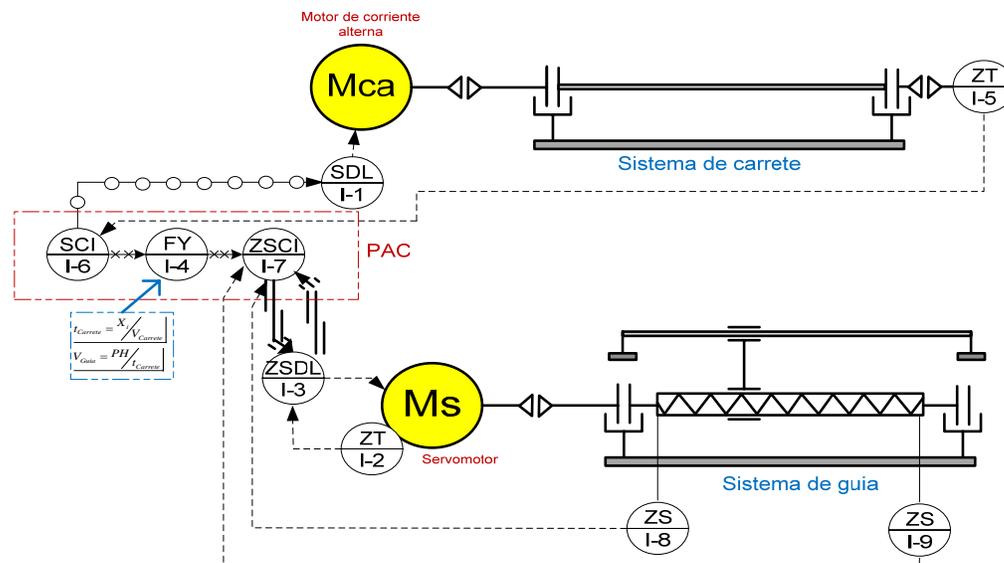
El programa MainRoutine el cual sincroniza los ejes se divide de la siguiente manera:

- Las líneas 0 y 1 generan el movimiento del Servomotor, siguiendo el patron programado en el capítulo 4.
- Las líneas 2 y 3 hacen el switch'eo para la inversión del sentido de giro del servomotor
- La línea 4 y 5 generan la sincronización de los dos ejes Kinetix2000 y Powerflex40

En el capítulo 6 se detallo en forma general, la programación del modulo didáctico, partiendo desde la programación mínima requerida por cada uno de los Drive's y avanzando hasta, finalizar con la sincronización de los ejes para motores, también en cada parte de la programación se ha podido observar una breve descripción del comportamiento de cada uno de los sistemas de guía y carrete programados.

6.6 Técnica de control propuesta para el modulo de Bobinado

Basado en la cadena cinemática propuesta en el capítulo tres y los dispositivos a utilizar se puede observar que los lazos de control propuestos, para la sincronización de ejes son tres tal y como se muestra en la figura 6.8. Como se puede observar el sistema de Guía o Servo-drive cuenta con un lazo de control por retro alimentación integrado por los dispositivos: ZSCI/L-0, ZSDL/L-0, ZT/L-0, y de igual manera el sistema de Carrete o Drive está integrado por los dispositivos: SCI/L-1, SDL/L-1, ZT/L-1 y dos dispositivos de seguridad que evitan una exceso de carrera en el sistema de guía, los cuales son: ZS/L-0-1, ZS/L-0-2



Señales		Letras de Identificación	
-----	Señal Eléctrica	ZS-Switch de posición	ZT-Trasmisor de posición
○-○-○	Señal Digital DeviceNet	ZT-Trasmisor de posición	FY-Estación de Razón
×-×-×	Señal de Software	ZSCI-Indicador controlador de Velocidad y Posición	
====	Señal Luminosa SERCOS	ZSDL – Drive de bajo voltaje para posición y Velocidad	
		SDL-Drive de bajo voltaje para velocidad	
		SCI-Indicador controlador de Velocidad	

Figura 6. 8 Diagrama Mecánico e Instrumentación

Uno de los puntos importantes para llevar a cabo el control de movimiento del módulo didáctico para bobinado es la sincronización de ejes, es por ello que para llevar a cabo dicha sincronización es necesario establecer una relación de velocidad entre los sistemas de guía y carrete, dicha relación está dada por la ecuación 10 que se dedujo en el capítulo 3, la cual tiene por objetivo calcular la reducción de velocidad del sistema de guía en cada capa nueva, que el sistema de carrete enrolla, a este tipo de control se le conoce comúnmente como control de Razón.

Para comprender mejor el control de razón es necesario tener en cuantas las siguientes consideraciones:

El lazo de control por retroalimentación para el sistemas de carrete no es afectado directamente por el sistema de control por razón debido a que este lazo tiene un punto de consigna fijo asignado por el usuario, y la función de este lazo de control por medio de un control PI, es la de mantener dicha velocidad cuando la carga del sistema de carrete aumenta, en términos de control podría decirse que es una velocidad de referencia para el sistema de guía.

El lazo de control para el sistema de guía es un lazo de control por retroalimentación el cual está definido por el RSLogix5000 como PID por default, el cual tiene la función de controlar el torque, velocidad y posición del servomotor. En nuestro caso lo importante es que dicho lazo solo controla la velocidad del eje del servomotor en una razón de velocidad que está determinada por el número de capa enrollada y la velocidad de giro del carrete. Por otra parte la posición solo es usada como punto de referencia para la inversión del sentido de giro del Servomotor, pues la posición nos indicara en forman indirecta el tamaño del carrete seleccionado por el usuario.

Los Switches de seguridad con que cuenta el mecanismo del sistema de guía, tienen por objetivo evitar que el sistema de guía se dañe si existe un exceso en el número de vueltas del servomotor.

Por último cabe mencionar que el control aquí propuesto tendrá que cumplir con ciertas características adicionales a las mencionadas en esta sección, que como se han visto en el capítulo 3 y 4 son determinantes por los perfiles de movimiento deseados.



Aunque el trabajo de ingeniería termina con la puesta en marcha del proyecto, es necesario realizar una evaluación económica del módulo didáctico construido basado en el análisis de todos los componentes utilizados, todo esto con el fin de comprender la importancia del desarrollo del proyecto en términos económicos, tal y como se muestra en el capítulo 7.

Evaluación económica

En el presente capítulo se desarrolla la evaluación económica para la fabricación del modulo didáctico propuesto basado en Drive's, la cual está basada en la comparación de costos para la fabricación propia del equipo contra adquisición de un modulo didáctico en el mercado.





CAPITULO 7. EVALUACIÓN ECONÓMICA

7.1 Generalidades

Como se analizó en los primeros capítulos el módulo didáctico propuesto está dirigido al apoyo en prácticas de la carrera de Ingeniería en Control y Automatización (ICA) de la ESIME Zacatenco del IPN. Debido a que dicha institución es de carácter público y sin fines de lucro es necesario desarrollar un módulo didáctico que sea económico y funcional. Por otro lado es importante que el análisis, montaje y puesta en marcha del equipo sean incluidos dentro de los costos.

El factor costo, como siempre, es el que da la facilidad para la aplicación de nuevas tecnologías. El estudio de la variación del costo de una modificación, en función de la fase de proyecto, puede ser un factor decisivo al momento de aplicar nuevas tecnologías. Los costos derivados de las fases de diseño ayudan a tomar decisiones ya que en esta etapa se condiciona el costo de fabricación y pruebas. Las propuestas de diseño deben evaluarse en términos económicos para poder llevar a cabo el proyecto, con lo cual debe decirse que el costo no se planea, se diseña.

La toma de decisiones económicas en un sentido integral, incluye tanto la generación y evaluación de alternativas. El objetivo de toda inversión o proyecto de ingeniería es el de obtener la mayor utilidad posible por unidad de recursos empleados, lo que se logra mediante la efectiva utilización de materiales, mano de obra y cualquier otro tipo de recurso.

7.2 Evaluación económica del sistema de control de movimiento

La evaluación económica correspondiente a la valoración del módulo didáctico que se propone en este proyecto, es la de comparar las ventajas económicas con respecto a un módulo didáctico adquirido en el mercado. Debido a que en este proyecto existen consideraciones técnicas involucradas el estudio económico se desarrollará como estudio de ingeniería económica.

En este proyecto de investigación e implementación se desarrollarán 2 casos para la evaluación económica.

En el primer caso, se calculará el costo total del módulo didáctico de acuerdo con los costos unitarios de cada uno de los elementos. Tomando en cuenta que algunos fueron adquiridos a la empresa AB y otros diseñados por el IPN. Cabe mencionar que AB hace un descuento en apoyo a las instituciones educativas que lo requieren, como es el caso del IPN (-70% sobre precio de lista). Dentro de los costos se analizarán costos de diseño, montaje y puesta en marcha del módulo didáctico.

En el segundo caso, se calculará el costo total del módulo didáctico de acuerdo a la cotización que AB realizó para desarrollar el módulo didáctico.



Costos del modulo didáctico para el caso 1

La cantidad aproximada que se invertirá en la integración del sistema de control de movimiento, se cuantifico de acuerdo al total de dispositivos y el equipo necesario, todo con el 70% de descuento por parte de la empresa proveedora.

Como se menciona anteriormente, los costos del diseño, montaje y puesta en marcha se agregaran en el costo total del proyecto, ya que se pretende hacer un estimado del costo por ingeniería, aunque el autor del proyecto no perciba ninguna remuneración económica.

La tabla 7.1 se describe los materiales empleados para desarrollo y construcción del modulo didáctico, de acuerdo a los subsistemas descritos en el primer y segundo capítulo.

Tabla 7.1, Lista de materiales y precios para los materiales de modulo didactico propuesto			
Nombre	Especificación	Cantidad	Precio total en dólares (\$)
Sistema de Control	Se refiere a todos los dispositivos y tarjetas empleadas en el PAC	1	\$2,596.40
Sistema de servo-accionamientos para el Sistema de guía	Se refiere a todos los dispositivos y tarjetas empleadas para el Kinetix2000	1	\$1,980.14
Sistema de accionamientos para el Sistema de Carrete	Se refiere a todos los dispositivos y tarjetas empleadas para el PowerFlex40	1	\$975.62
Sistema de Guía	Se refiere al modulo mecánico para el sistema de guía propuesto con todos sus componentes	1	\$140.05
Sistema de Carrete	Se refiere al modulo mecánico para el sistema de carrete propuesto con todos sus componentes	1	99.12
Lista de materiales y precios para Accesorios	Materiales Varios	1	\$223.84
Subtotal			\$2,596.40



La tabla 7.2 describe los dispositivos empleados para desatollar y construir la estación de control para sincronización de ejes, los cuales son de la marca AB.

Nombre	Especificación	Numero de Serie	Cantidad	Precio total en dólares (\$)
Paquete de 5 licencias	Toolkit para 1/2 año, soporte estándar	9398-3QEDCTKIT5B	1	\$620.00
Modulo servidor Web	Servidor Web avanzado para CompactLogix L4X	1768-EWEB	1	\$375.30
Procesador	CompactLogix L43 con memoria de 2 Mbyte	1768-L43	1	\$947.70
Modulo de interface	Interface SERCOS para compactLogix L4X	1768-M04SE	1	\$185.22
Fuente de alimentación	Entrada de 120/240 VCA, salida de 3.5 A @ 24 VCD	1768-PA3	1	\$107.73
Cubierta	Cubierta terminadora final derecha	1769-ECR	1	\$8.37
Modulo de entrada	16 puntos de entrada tipo Drenado/Fuente de 24 VCD	1769-IQ16	1	\$61.56
Modulo de salida	16 puntos de salida tipo Fuente de 24 VCD	1769-OB16	1	\$80.73
Scanner	Devicenet para Controladores 1764 y 1769	1769-SDN	1	\$209.79
Subtotal				\$2,596.40

En la tabla 7.3 se muestran los costos de los elementos empleados que integran el sistema de servo-accionamientos con el Kinetix2000, que son aplicados directamente al sistema de guía propuesto,

**Tabla 7.3, Lista de materiales y precios para el Sistema de servo-accionamientos para el Sistema de guía**

Nombre	Especificación	Numero de Serie	Cantidad	Precio total en dólares (\$)
Modulo de ejes integrado	Voltaje-alimentación 230VCA, 50/60 Hz, potencia-Convertidor 3kW, Corriente-inversor 4.24A	2093-AC05-MP5	1	\$475.20
Modulo de eje	Voltaje-alimentación 230VCA, 50/60 Hz, Corriente-inversor 4.24A	2093-AMP5	2	\$707.52
Modulo de relleno	Relleño para Ranura	2093-PRF	1	\$19.80
Cable de potencia	Cable de potencia de 3m para servoaccionadores	2090-XXNPMF-16S03	1	\$69.08
Cable de retroalimentación	Cable de retroalimentación del motor de 3m	2090-XXNFMF-S03	1	\$58.96
Kit de conector	De bajo perfil para retroalimentación del motor (15 pines, macho, alta densidad, D-Shell)	2090-K2CK-D15M	1	\$28.16
Filtro de línea de CA	520 VCA, 50/60 Hz, trifásico, 16A	2090-XXLF-TC316	1	\$97.68
Interface SERCOS	Interface SERCOS con cable de fibra óptica de 3m	2090-SCEP3-0	1	\$40.92
Cable	Para conectar módulos de eje de la línea de tensión de 1m	2090-SCEP0-1	1	\$24.20
Servo motor Brushless baja inercia	Voltaje nominal 230 VCA, Velocidad nominal 8000rpm, retroalimentación con encoder multivuelta de alta resolución, rotación 180°, sin freno	MPL-A1520U-VJ42AA	1	\$458.62
Subtotal				\$1,980.14



En la tabla 7.4 se muestran los elementos que son necesarios para implementar el sistema de servo-accionamientos con el Powerflex40, el cual interactúa directamente con el sistema de carrete.

Tabla 7.4, Lista de materiales y precios para el Sistema de accionamientos para el Sistema de Carrete				
Nombre	Especificación	Numero de Serie	Cantidad	Precio total en dólares (\$)
PowerFlex40	Driver para control de frecuencia Powerflex40, 230VCA-40A	22A-A1P5N114AA	1	\$367.80
Cable de potencia	Cable de potencia de 3 m para Driver	2090-XXMF-16S03	1	\$57.06
Cable	Para conectar Drive línea de tensión de 1m	2090-SCEP0-10	1	\$26.40
Interface serial	DeviceNet to RS-232 serial interface	1770-KFD	1	\$280.00
Cable para Devicenet	Cable KFD a SDN	1787-PCABL	1	\$40.50
Motor trifásico 220VCA	Motor trifásico jaula de ardilla de 346W a 220VCA		1	\$203.86
Subtotal				\$975.62



La tabla 7.5 muestra los dispositivos y accesorios complementarios para integrar el sistema de control de movimiento del módulo didáctico.

Nombre	Especificación	Numero de Serie	Cantidad	Precio total en dolares (\$)
Contactador	contactor MCS-C, ICE, 9A, 24 VCD (Diodo integrado)	100-C09DJ10	1	\$47.96
Modulo incandescente	Modulo incandescente, montaje al ras, 24V CA/CD	800F-D3C	1	\$9.72
Luz piloto	800F Luz piloto, plástico, roja empaque estándar	800FP-P4	5	\$8.06
Base	Base de plástico	800F-ALP	1	\$1.46
Bloque de contactos	Bloque de contactos terminadores de tornillo	800F-X10	2	\$6.74
Base y bloques de contactos	Base de bloque de contactos con terminaciones de tornillo 25mm	800F-PX**	2	\$9.12
End Barrier	End Barrier	1492-EBJ3	1	\$0.27
Riel DIN	35 x 7.5 mm, 1m, Din rail	199-DR1	3	\$16.92
Feed	Feed	1494-J3	20	\$7.59
Sensor	Sensor foto eléctrico		2	\$66.00
Encoder	Encoder incremental de alta resolución		1	\$50.00
Subtotal				\$223.84



En la tabla 7.6 se muestran los elementos mecánicos que integran al sistema de guía propuesto.

Nombre	Especificación	Numero de Serie	Cantidad	Precio total en Pesos (\$)
Bases para Husillo	Bases para Husillo de Aluminio con Rodamientos	Fabricación propia	2	\$620.00
Husillo	Husillo de acero galvanizado paso 2mm, 3/8" , 2m	Fabricación propia	1	\$50.00
Tuerca	Tuerca de Aluminio para Husillo de 3/8" -2mm, para guia de colroll 1/2"	Fabricación propia	1	\$320.00
CollRoll	Coll roll de 1/2" acero inoxidable 50cm	Fabricación propia	1	\$136.45
Bases	Base de acero	Fabricación propia	1	\$280.00
Coplee	Coplee axial para Husillo y servomotor	Fabricación propia	1	\$45.00
Base para Servomotor	Base para servomotor acero, 1/8"	Fabricación propia	1	\$155.00
Tornillos	Tornillos con tuercas y rondanas diferentes medidas	Fabricación propia	12	\$74.20
Subtotal				\$1,680.65



En la tabla 7.7 se muestran los elementos mecánicos que integran al sistema de guía propuesto.

Tabla 7.7 Lista de materiales y precios para el Sistema de Carrete				
Nombre	Especificación	Numero de Serie	Cantidad	Precio total en Pesos (\$)
Bases para Chumacera	Bases de acero para chumacera de 1/4"	Fabricación propia	2	\$340.00
Chumaceras	Chumacera de acero de 1/2"	Fabricación propia	2	\$545.00
Tubo para carrete	Tubo acero para carrete de 1/2", 1m	Fabricación propia	1	\$95.30
Base para encoder	Base para encoder	Fabricación propia	1	\$110.00
Coplee	Coplee para encoder y motor	Fabricación propia	2	\$45.90
Tornillos	Tornillos de diferentes tamaños		6	\$53.20
Subtotal				\$1,189.40

Con lo anterior es posible obtener la tabla 7.8, la cual muestra los costos totales del modulo didáctico, sin incluir los costos por la ingeniería.

Tabla 7.8 Costo total de modulo didáctico (Solo material)	
Monto total en Dólares	\$5,776.00
Monto total en pesos	\$72,182.05
Monto total con IVA en pesos	\$83,731.18

Como se observa en la tabla 7.8 el valor del cambio para monedas (Dólar & Peso), es de 14 Pesos = 1 Dólar y el valor del IVA aplicado al modulo didáctico es del 16% sobre el precio total.

La tabla 7.9 da a conocer los costos actuales para la ingeniería del modulo didáctico, como también muestra un pequeño desglose de las diferentes ramas de la ingeniería que participan en la construcción del modulo didáctico.



	Personal	Horas	Precio por hora en pesos	Precio total en Pesos
Diseño	Ingeniero de diseño	40	\$800.00	\$32,000.00
	Dibujante técnico	40	\$250.00	\$10,000.00
Montaje	Ingeniero planta	30	\$800.00	\$24,000.00
	Ingeniero mecánico	40	\$800.00	\$32,000.00
	Técnico	40	\$500.00	\$20,000.00
Implementación	Programador	30	\$600.00	\$18,000.00
	Supervisor	5	\$1,000.00	\$5,000.00
Total				\$141,000.00

En la tabla 7.10 se muestran los costos totales para el modulo didáctico incluidos los gastos por ingeniería

Monto total en Dólares	\$5,776.00
Monto total en pesos	\$72,182.05
Monto total con IVA	\$83,731.18
Costo de ingeniería	\$141,000.00
Costo del Integral del Modulo Didáctico	\$224,731.18

Costos del modulo didáctico para el caso 2

En esta sección se analiza el costo del modulo comercializado por el fabricante AB, para una bobinadora de hilo. Cabe mencionar que la cotización realizada por la empresa



AB mantiene el descuento para instituciones educativas pero no se desglosan los precios, solo se da un estimado para los sistemas mecánicos y eléctricos.

La tabla 7.11 muestra los costos totales para el modulo didáctico, a partir de la cotización realizada por AB.

Monto total en Dólares para el equipo Mecánico	\$3,789.35
Monto total en Dólares para el equipo Eléctrico	\$6,345.67
Monto total del MD en Pesos	\$121,620.24
Monto total con IVA	\$141,079.48
Costo de ingeniería en Dólares	\$11,860.68
Costo de ingeniería en Pesos	\$142,328.16
Costo del Integral del Modulo Didáctico	\$283,407.64

7.3 Comparación económica entre el desarrollo interno y la adquisición del equipo a la empresa AB.

Como ya se menciona, el presente proyecto está orientado a la propuesta de construcción de un modulo didáctico, que demuestre la sincronización de ejes a través de un PAC, dicho proyecto pretende ser implementado en las instalaciones de la ESIME Zacatenco.

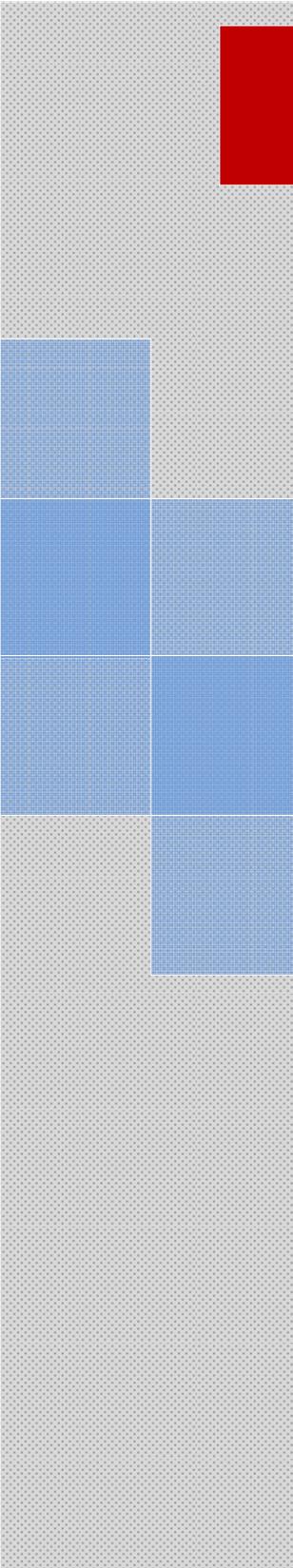
De acuerdo al análisis económico realizado se puede obtener una cotización general del equipo de AB, y las cotizaciones para la maqueta por parte del IPN y de AB. Los montos económicos por parte del IPN son de **\$224,731.18** y por parte de AB de **\$283,407.64**.

Con lo antes analizado se puede ver claramente las ventajas que se obtiene en fabricación con ingeniería propia del IPN, contra la adquisición de un equipo a la empresa AB. Y esto se debe a que la ingeniería desarrollada dentro del IPN es considerada como trabajo de investigación y aporte educativo y por lo tanto los costos por ingeniería son eliminados totalmente de la cotización del modulo didáctico, con esto



se obtiene que el costo máximo para el modulo didáctico con ingeniería propia por parte del politécnico es de **\$83,731.18**.

En el ultimo capitulo del proyecto se realizo un análisis económico referente ala construcción y puesta en marcha del modulo didáctico para bobinado, tomando como punto medular la comparación entre la ingeniería interna por parte del IPN y la ingeniería externa por parte de la compañía AB.



Conclusiones, Recomendaciones, Fuentes de información





CONCLUSIONES

En el presente proyecto, se realizó una propuesta para la instalación, configuración, sincronización y pruebas para Drives, teniendo como objetivo el desarrollo de una maqueta didáctica capaz de demostrar la aplicación del control de movimiento, en un proceso real como lo es el bobinado de alambre o hilo.

Como se ha visto a lo largo del proyecto la propuesta mecánica para la aplicación de Drives, requiere el desarrollo de un correcto análisis de los diferentes dispositivos y exigencias del proceso, como es para el caso de la bobinadora, el análisis de los Drives, motores, servomotores, perfiles de movimiento, precisión requerida y fuerzas interactuantes en el proceso, por medio de diferentes herramientas como: el MAS, Catálogos, Tablas, etc, con el fin de poder proponer un correcto mecanismo y predecir su operación a lo largo de la puesta en marcha, y así reducir pérdidas generadas por tiempos y costos. En función al análisis realizado se ha podido llevar a cabo una propuesta, que permite demostrar la sincronización de ejes en forma económica y con un desempeño aceptable.

El diseño, conexión, programación, configuración y puesta en marcha, de Drive's y Redes de comunicación se realizó de forma estándar y explicativa lo que dio como resultado que dichas acciones puedan ser utilizadas en futuros proyectos o prácticas enfocadas al control de movimiento sirviendo como guía alterna a los manuales que son ofrecidos con cada uno de los dispositivos.

La instalación, configuración y puesta en marcha de todos los elementos requeridos para el desarrollo de la maqueta didáctica como lo son: redes de comunicación, Drives y PAC, demuestran la importancia que implica el desarrollo de un proyecto integral de ingeniería, en forma planificada y sencilla, como el módulo didáctico para bobinado.

Con la puesta en marcha de las redes de comunicación de DeviceNet, Ethernet y SERCOS, se ha podido observar que para determinar la mejor aplicación de cada una de estas redes, es necesario conocer la aplicación en forma profunda, para proponer una adecuada red de comunicación, según la cantidad de información y velocidad requerida para el proyecto. Aunque en la propuesta de la presente maqueta han servido para demostrar su instalación, compatibilidad y fiabilidad en el uso de proyectos que requieren control de movimiento de alta precisión.

El proyecto también ha demostrado, como punto principal de enfoque que la precisión, velocidad y posicionamiento en una aplicación, de control de movimiento serán determinantes para la selección de un sistema con Drives o uno con Sevo-Drives, pues una mala selección genera una baja productividad o un elevado costo; en pocas palabras podría decirse que, "No existen equipos malos, solo aplicaciones inadecuadas"

La puesta en marcha de un prototipo de ingeniería como lo es la maqueta didáctica completa, permite observar: los problemas, limitantes, alcances, puntos de mejora y



puntos a favor, que todo el proyecto de ingeniería ha arrojado como resultado final después de su desarrollo.

Por último, es importante mencionar que este proyecto no solo cumplió con el objetivo de ofrecer una propuesta para el desarrollo de un módulo didáctico para bobinado y puesta en marcha de diferentes equipos con que cuentan los laboratorios de ICA, también muestra la importancia que tiene la construcción y puesta en marcha de un modulo didáctico con el fin de formar una plataforma para el desarrollo de futuros proyectos referentes al control de movimiento, que hoy por hoy es uno de los de mayor aplicación en la industria, y por último se expuso la importancia que conlleva al desarrollo de proyectos por parte del IPN.

RECOMENDACIONES

A continuación se exponen algunas propuestas de posibles aportaciones a este proyecto, que se encuentra en los laboratorios de la carrera de ICA, esto con la final de fortalecer los métodos de enseñanza, enriquecimiento de los conocimientos del alumno que se encuentre cursando las materias de la especialidad en manipuladores industriales, como también generar mayor motivación e interés en el área de la robótica industrial. Esto es posible de realizar ya que como se ha mencionado gran parte del equipo que formarían parte de estos sistemas se encuentran actualmente en el los laboratorios de ICA.

A) Desarrollo ó Compra de un maqueta didáctica para bobinado

Como se ha podido observar a lo largo del proyecto, es necesario contar con una maqueta de pruebas, la manera ideal para diseñar la maqueta es tomar en cuantas las características de los equipos eléctricos que se usaran como sistemas de accionamiento. Aun que en el presente trabajo capitulo 3 se menciona la propuesta para la construcción de una bobinadora a tamaño escala, es necesario desarrollar un estudio de mecanismos completo, que incluya mecánica de materiales, estática y dinámica para obtener la mejor propuesta para la construcción de una maquina bobinadora. Se recomienda que los estudios, diseños y construcción se realicen bajo norma debido a la dinámica de altas exigencias.

B) Creación de una interface Hombre maquina (HMI)

Otra propuesta, es la instalación de una HMI con el objetivo que el usuario final no tenga manera de alterar la programación del PAC, y solo introduzca recetas y/o valores al programa, haciendo totalmente automático el proceso de bobinado. Otro punto importante es la reducción de tiempos por cuestiones de cálculos e ingreso de valores.



C) Modelado del sistema mecánico y eléctrico

Como parte fundamental de la ingeniería de diseño, está el análisis matemático de cada uno de los componentes, que integraran el sistema. Este punto es de suma importancia debido a que con el análisis matemático se podrá comprender mejor la teoría aprendida durante la carrera. Todo el análisis matemático del sistema, es recomendable realizarlo como demostración de cálculos y modelados para las materias de teoría en control, mecanismos y manipuladores industriales.



FUENTES DE INFORMACIÓN

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Metodología de la investigación, EDITORES MEXICANOS UNIDOS, S.A
- [2] Metodología de la investigación, Mc. Grew Hill, Tercera edición
- [3] Fachkunde Mechatronik, Ed. EUROPA LEHRMITTEL,
- [4] Fundamentals of Machine Elements, McGREW.HILL
- [5] Mechatronics, 3dr Edition, Autor. W.Bolton, Edit. Person-Prentice Hall 2003.
- [6] Fundamentos de electricidad, Autor. Miltosn Gussow , ED. Mc GrawHill
- [7] Electricidad practica aplicada, Tomo 4, Autor. Conyne, Edit. UTEHA 1951
- [8] Proyecto terminal “Configuración del modulo de control de servomotores para aplicaciones de sincronización de ejes” IPN-2008.
- [9] Proyecto terminal “Integración de la etapa de control de un modulo didáctico aplicado al control de movimiento” IPN-2008.

CONFERENCIAS Y AYUDA TÉCNICA POR PARTE AB

- [10] Conferencia “control de movimiento y Motion Analyzer software”, 7/10/09
- [11] Conferencia “Control de movimiento y Logix5000”, 10/03/10
- [12] Asesoría Técnica “Control de movimiento, Logix5000, PowerFlex40, kinetix2000 ”

MANUALES TÉCNICOS

- [13] Encoder Incremental / Eltra / SI010ES2-edición 2000
- [14] Espiralen / Shule Wohnort den 26.03.2006 / Maximilian Löber
- [15] Catálogo General SD03 2005 / SIEMENS



- [16] INCREMENTAL ROTATORY ENCODER / ED1 / EH-05-2008-01-17
- [17] Powerflex4 Manual de usuario/ Automation University- Rockwell / ET4ES
- [18] Guía de inicio rápido para controladores Logix5000TM / AllenBradley / Publicación 1756-QS001B-ES-P-Marzo 2004
- [19] PowerFlex 40 Adjustable Frequency AC Drive / AllenBradley / Publication 22B-QS001D-EN-P-January 2007
- [20] MP-Series Low/inertia Brushless Servo Motors with 75mm or Smaller Frame Sizes / AllenBranley / Publication MP-1N006B-EN-P-June 2006
- [21] Kinetix2000 Multi/axis Servo Drive / Allen Bradley / Publivation 2093-UM001A-EN-P-March 2007
- [22] Introducción al control de movimiento integrado / AutomationUniversity 2006 Kinetix- Rockwell
- [23] Husillo de Bolas / SKF / Catálogo 4141 ES-2005-06
- [24] DeviceNet™ Communication Module - User Manual / Allen Bradley / Publication 0160-5.18-March 1999
- [25] Powerflex40 Adjustable Frequency AC Drive / Rockwell Automation / Publication 22B-UM001G-EN-E

INTERNET

- [26] <http://www.tracnova.com/control.htm>
- [27] <http://www.ab.com/>
- [28] <http://observatorio.cnice.mec.es>
- [29] <http://simetria.dim.uchile.cl/matematico/nodo212.html>
- [30] <http://www.monografias.com/>
- [31] <http://en.wikipedia.org/>
- [32] Toolkit AB

ANEXOS



METODOLOGÍA

La metodología para el desarrollo del Modulo didáctico propuesto, que se tomo como referencia es la mostrada en el diagrama 1, dicho diagrama muestra las fases principales del proyecto como las principales herramientas a utilizar en cada fase.



Diagrama 1



CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

Cronograma de actividades para puesta en marcha de drives, sincronización de ejes y propuesta del modulo didáctico.

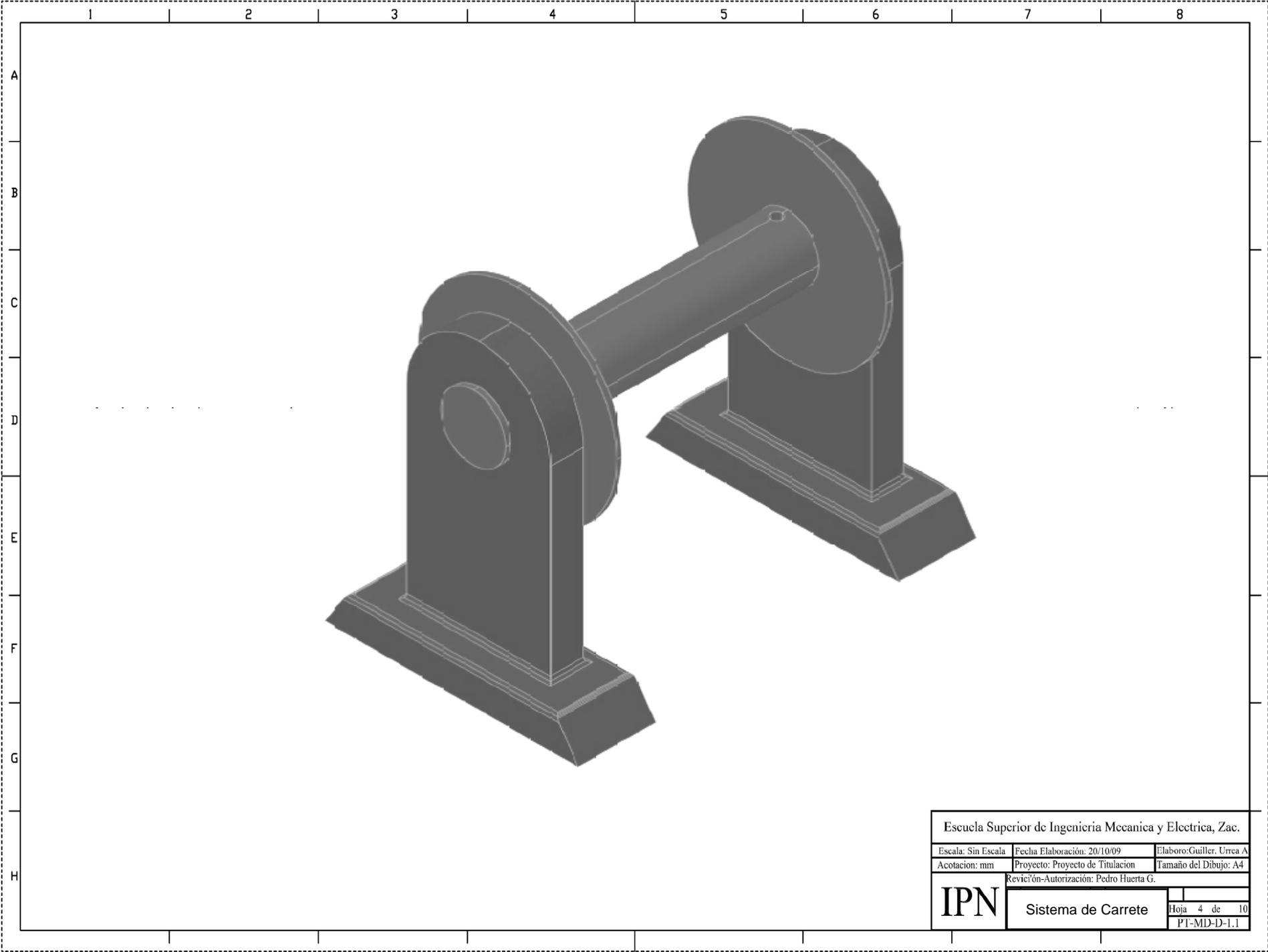
Íd.	Nombre de tarea	Inicio	Fin	Duración	sep 2009		oct 2009				nov 2009				dic 2009				ene 2010				feb 2010				mar 2010				abr 2010				may 2010				jun 2010				jul 2010				
					30/8	09	13/9	20/9	27/9	04/10	11/10	18/10	25/10	01/11	08/11	15/11	22/11	29/11	06/12	13/12	20/12	27/12	03/1	10/1	17/1	24/1	31/1	07/2	14/2	21/2	28/2	06/3	13/3	20/3	27/3	03/4	10/4	17/4	24/4	01/5	08/5	15/5	22/5	29/5	05/6	12/6	19/6
1	Análisis y estudio del problema	31/08/2009	25/09/2009	4s	█																																										
2	Conceptualización	25/09/2009	20/10/2009	3.5s	█																																										
3	Análisis del sistema de control de movimiento	20/10/2009	09/11/2009	3s	█																																										
4	Propuesta del modulo didactico	02/11/2009	04/12/2009	5s	█																																										
5	Construcción del modulo didactico	02/12/2009	15/02/2010	10.8s	█																																										
6	Conexión del modulo didactico	16/02/2010	30/03/2010	6.2s	█																																										
7	Pruebas, configuración y puesta en marcha, de Drives y redes de comun.	15/03/2010	15/04/2010	4.8s	█																																										
8	Programación del PAC y puesta en marcha del modulo didactico	12/04/2010	14/05/2010	5s	█																																										
9	Defensa de la tesis	19/07/2010	19/07/2010	.2s	█																																										
10	Elaboración de la tesis	31/08/2009	16/07/2010	46s	█																																										

Diagrama 2

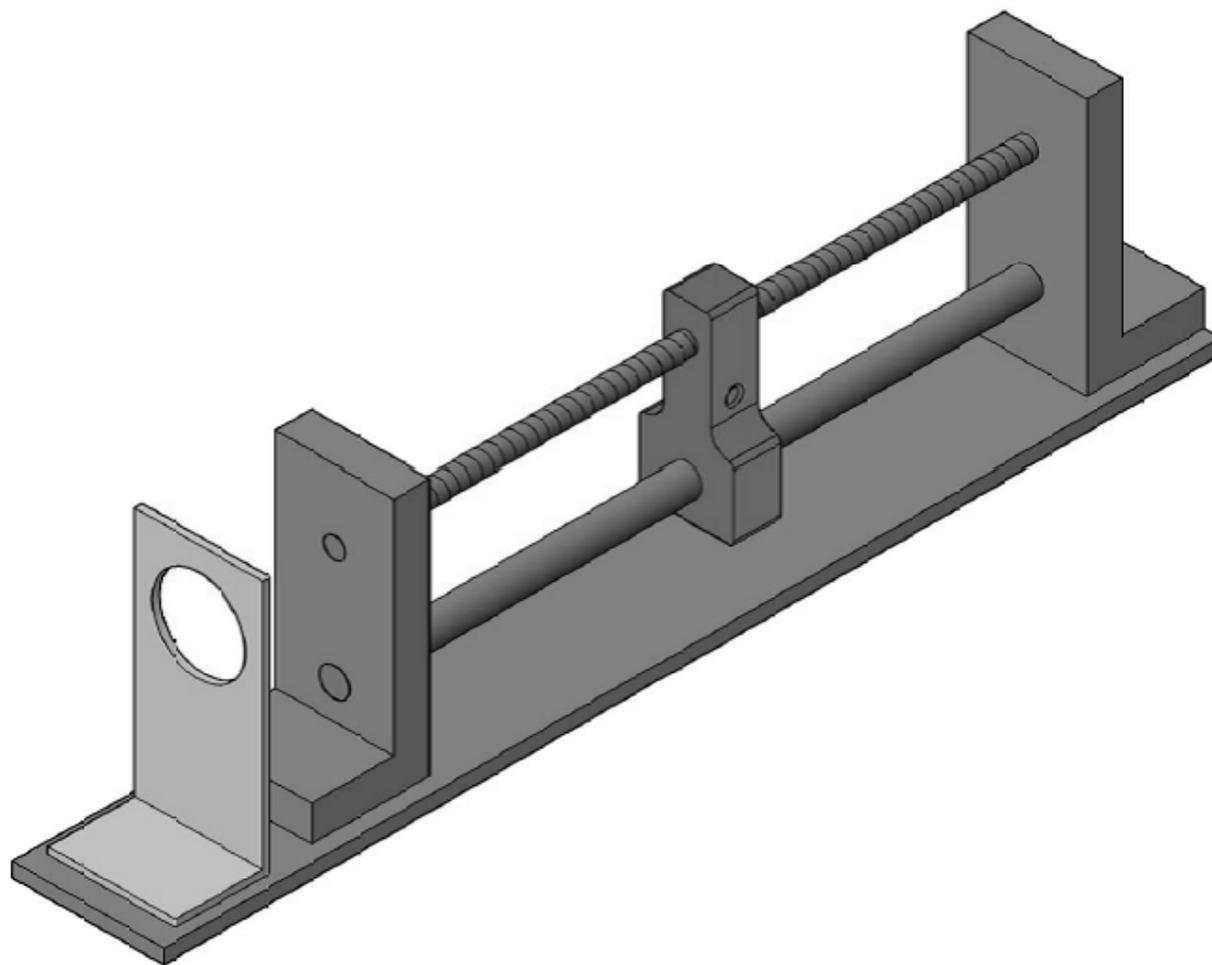


ANEXO 1

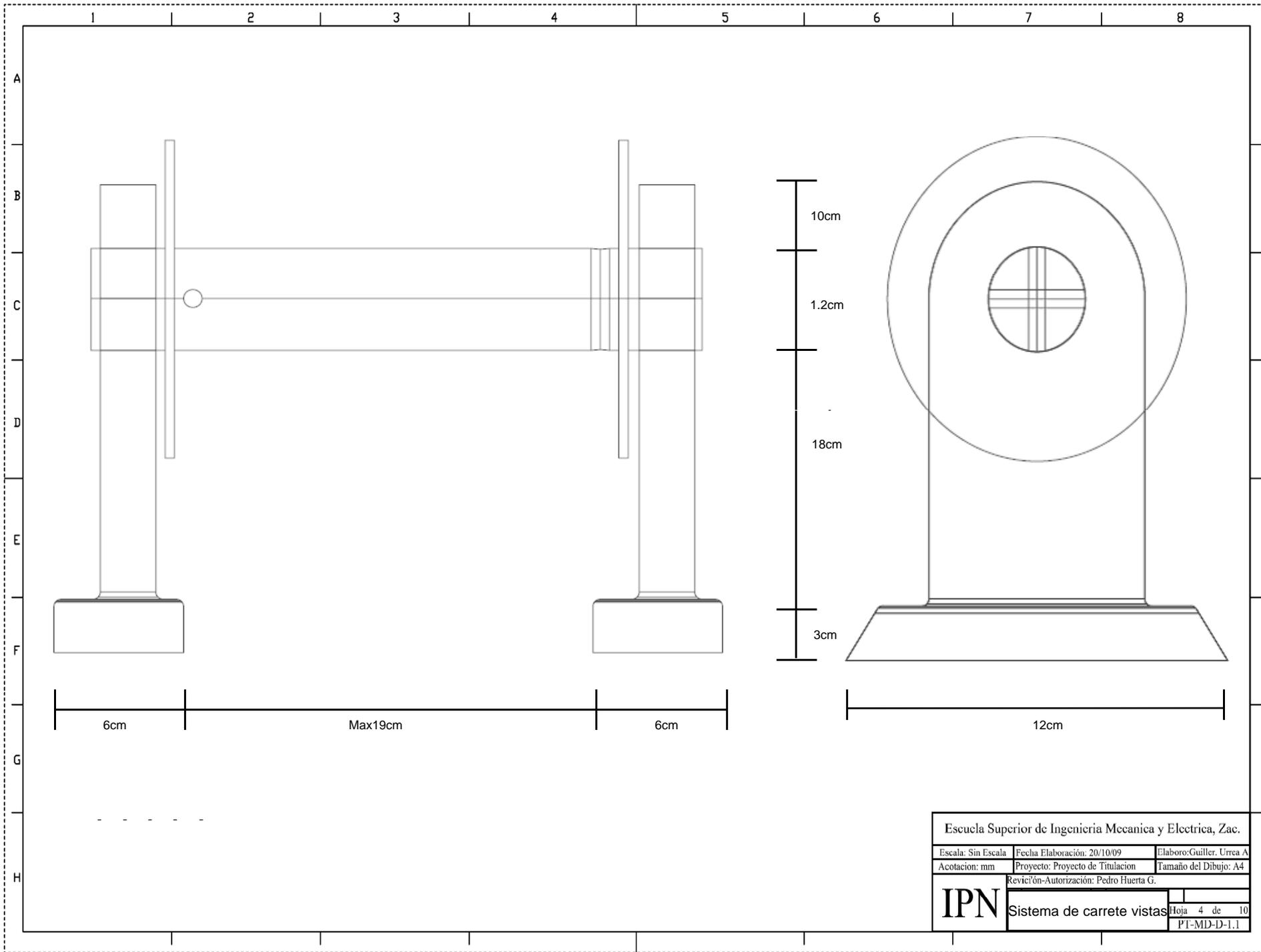
“Diseños para el modulo didáctico”

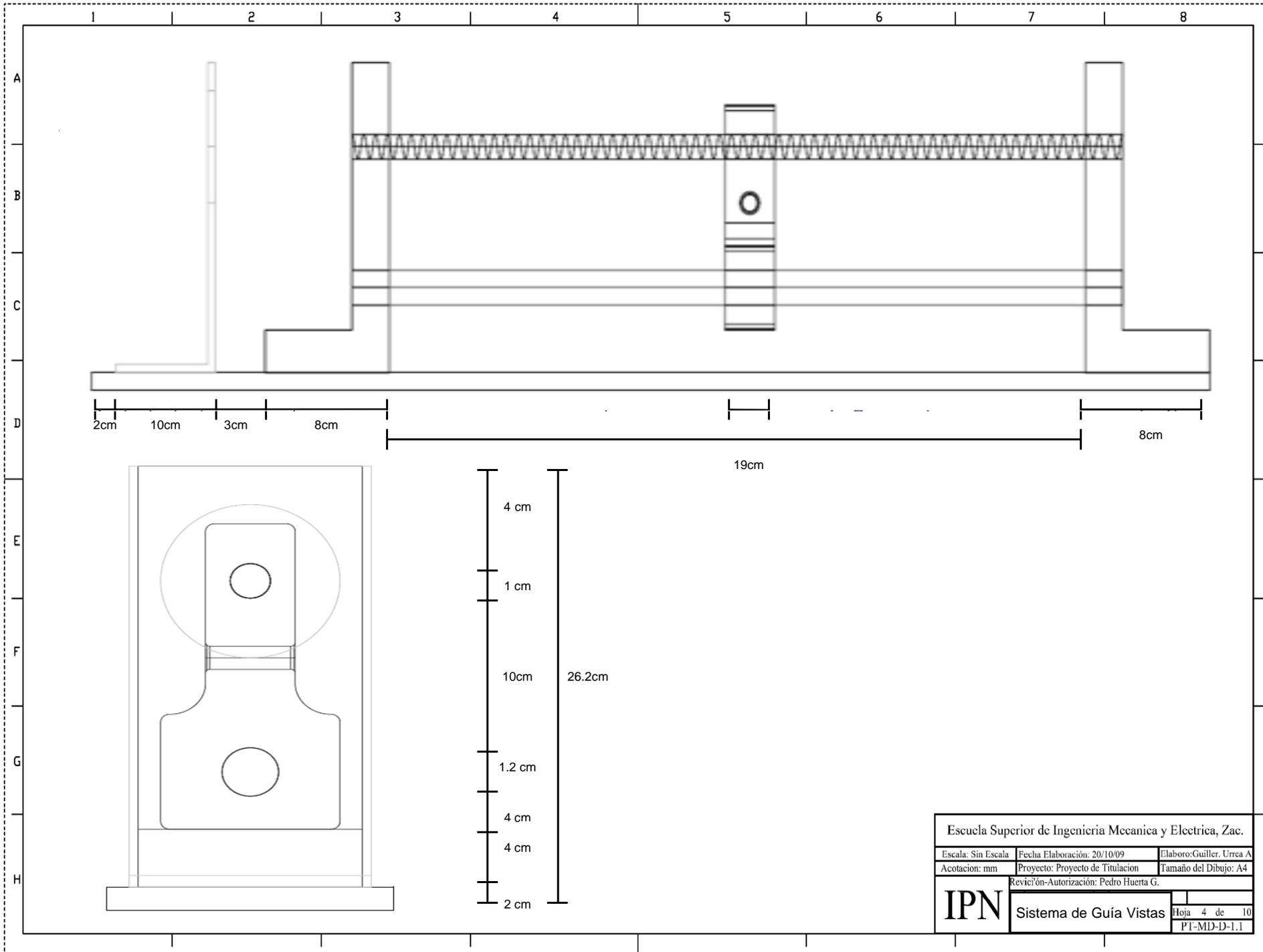


Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, Zac.		
Escala: Sin Escala	Fecha Elaboración: 20/10/09	Elaboro: Guiller. Urrea A
Acotación: mm	Proyecto: Proyecto de Titulación	Tamaño del Dibujo: A4
Revisión-Autorización: Pedro Huerta G.		
IPN	Sistema de Carrete	Hoja 4 de 10
		PT-MD-D-1.1



Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, Zac.		
Escala: Sin Escala	Fecha Elaboración: 20/10/09	Elaboro: Guiller. Urrea A
Acotación: mm	Proyecto: Proyecto de Titulación	Tamaño del Dibujo: A4
Revisión-Autorización: Pedro Huerta G.		
IPN	Sistema de Guía	Hoja 4 de 10
		PT-MD-D-1.1





Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, Zac.		
Escala: Sin Escala	Fecha Elaboración: 20/10/09	Elaboro: Guillen Urrea A
Acotación: mm	Proyecto: Proyecto de Titulación	Tamaño del Dibujo: A4
Revisión-Autorización: Pedro Huerta G.		
IPN	Sistema de Guía Vistas	Hoja 4 de 10
		PT-MD-D-1.1

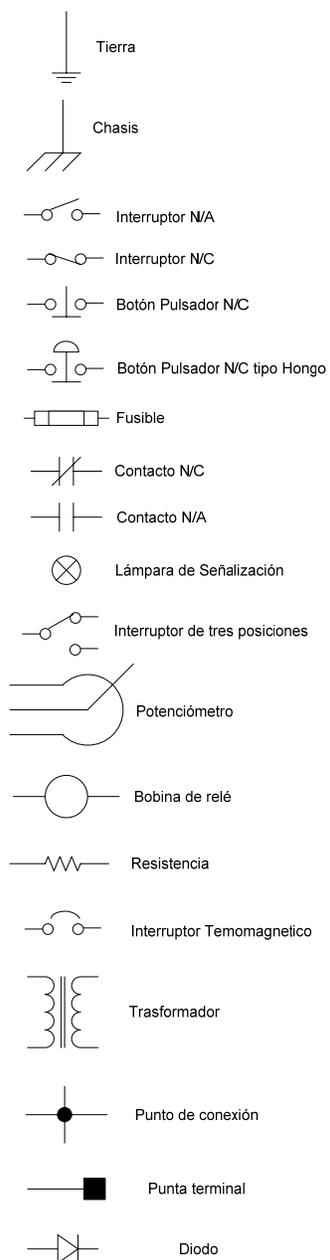


ANEXO 2

“Diagramas eléctricos de conexión”



Simbología para diagramas eléctricos

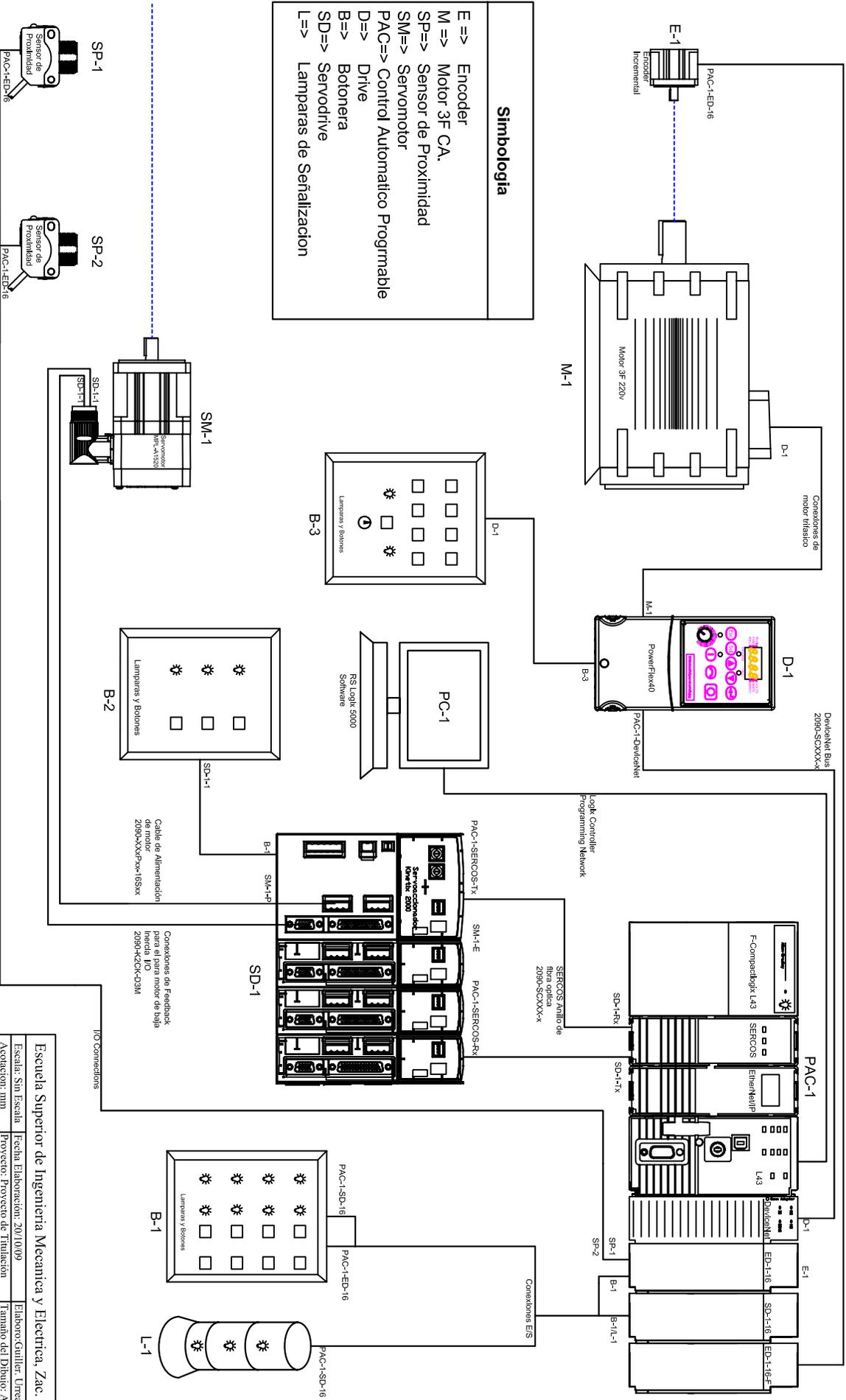


Conexiones E/S

1 2 3 4 5 6 7 8

Simbología

E => Encoder
M => Motor 3F CA.
SP => Sensor de Proximidad
SM => Servomotor
PAC => Control Automatico Programmable
D => Drive
B => Botonera
SD => Servodrive
L => Lamparas de Señalizacion



Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, Zac.

Escuela: Sin Escala

Fecha Elaboración: 20/10/09

Elaboró: Guillen, Urra A

Revisó: Autorización

Proyecto: Proyecto de Trámición

Tamaño del Dibujo: A4

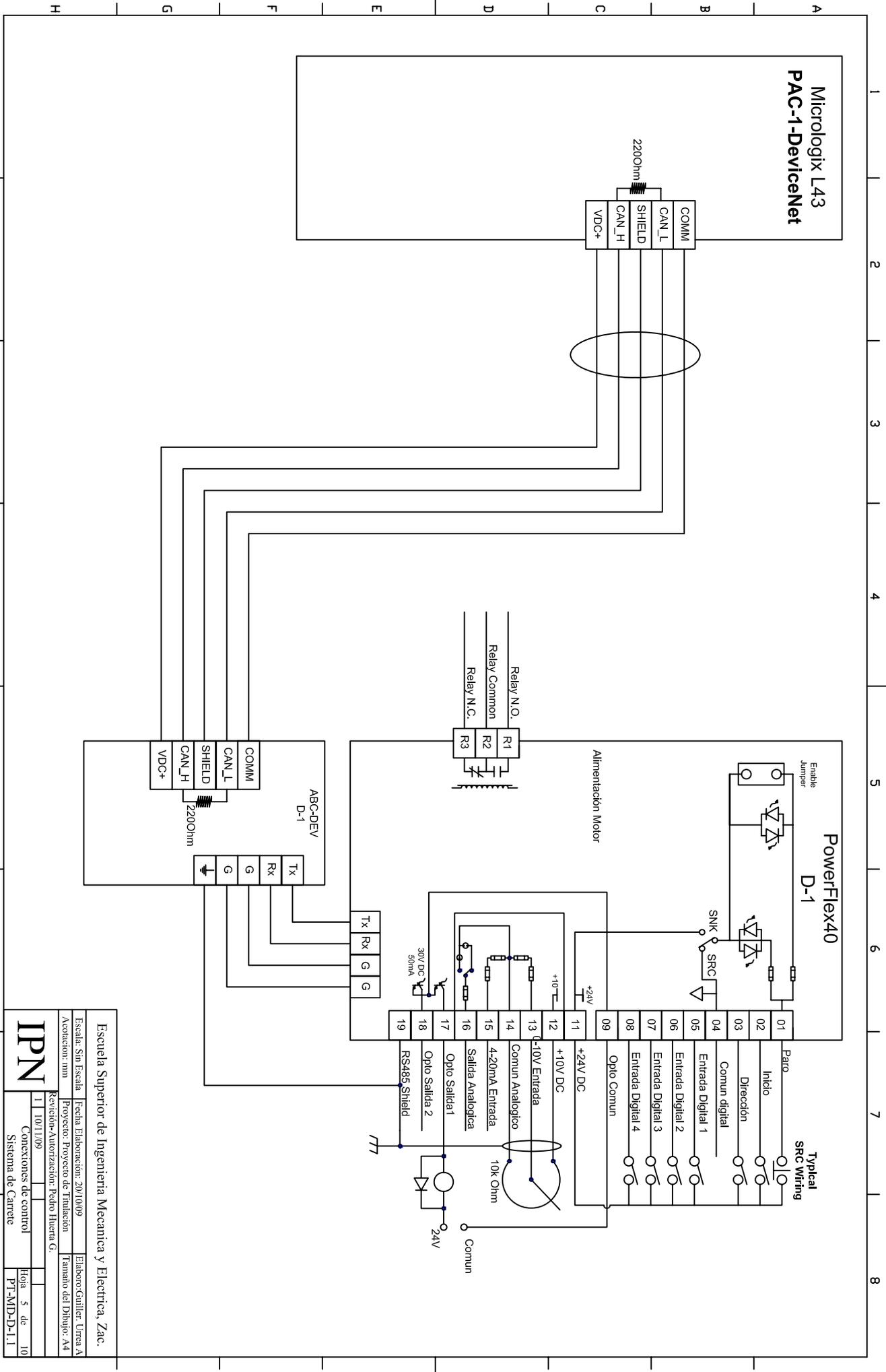
Fecha: 20/10/09

Hoja 1 de 10

Diagrama Esquemático

PT-MD-G-1.1

IPN



Micrologix L43
PAC-1-DeviceNet

ABC-DEV
D-1

COMM
CAN_L
SHIELD
CAN_H
VDC+

2200ohm

Tx
Rx
G
G

PowerFlex40
D-1

Typical SRC Wiring

01 Pairo

02 Inicio

03 Direccion

04 Comun digital

05 Entrada Digital 1

06 Entrada Digital 2

07 Entrada Digital 3

08 Entrada Digital 4

09 Opto Comun

10 +24V DC

11 +10V DC

12 -10V DC

13 -10V Entrada

14 Comun Analogico

15 4-20mA Entrada

16 Salida Analogica

17 Opto Salida 1

18 Opto Salida 2

19 RS485 Shield

10k Ohm

24V

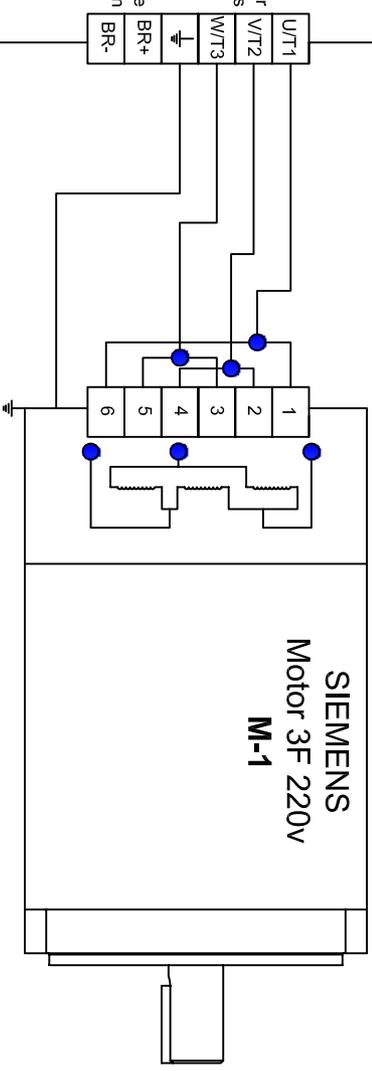
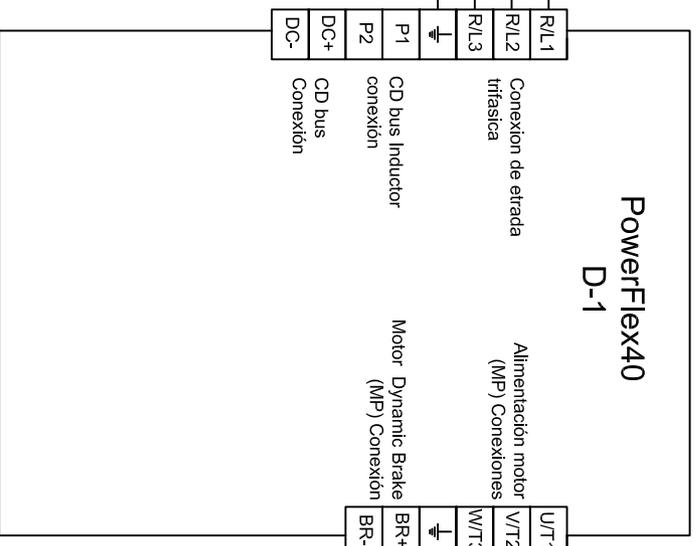
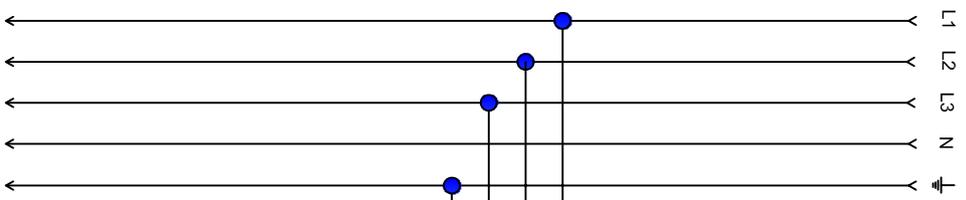
Comun

Escuela Superior de Ingenieria Mecanica y Electrica, Zac.

Escuela: Sin Escala	Fecha Elaboración: 20/10/09	Elaborador: Guillen, Urra A
Aclaración: mm	Proyecto: Proyecto de Titulación	Tamaño del Dibujo: A4
Revisión: Autorización: Pedro Huerta G.		
1	10/11/09	
Conexiones de control		Hoja 5 de 10
Sistema de Carrete		PT-MD-D-1.1

IPN

Alimentación trifasica



Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, Zac.

Escala: Sin Escala | Fecha Elaboración: 20/10/09 | Elaborador: Guillen, Urra A

Asociación: mm | Proyecto: Proyecto de Titración | Tamaño del Dibujo: A4

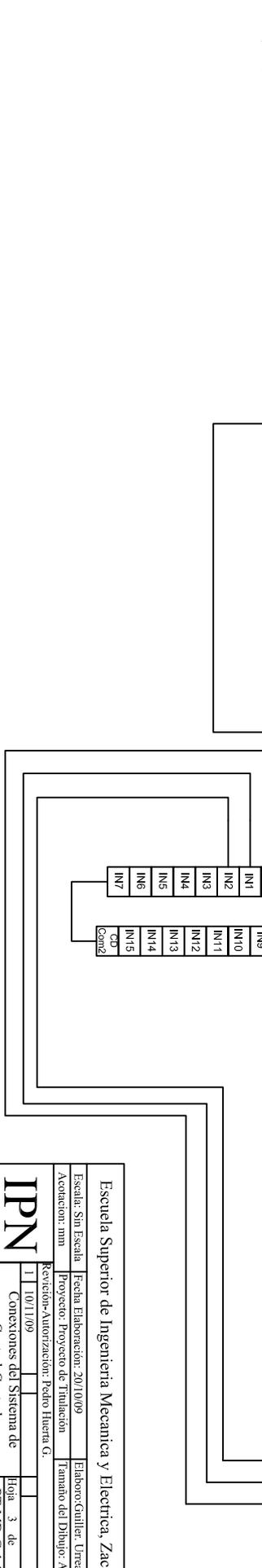
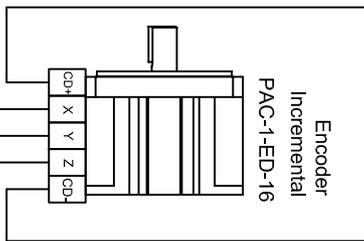
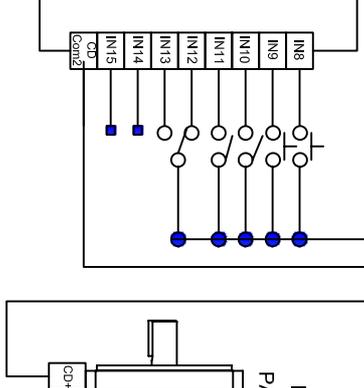
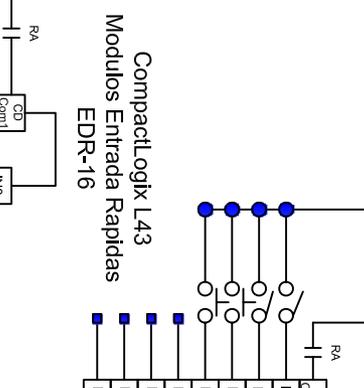
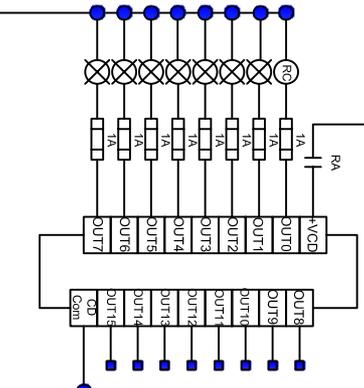
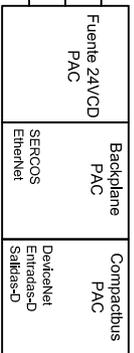
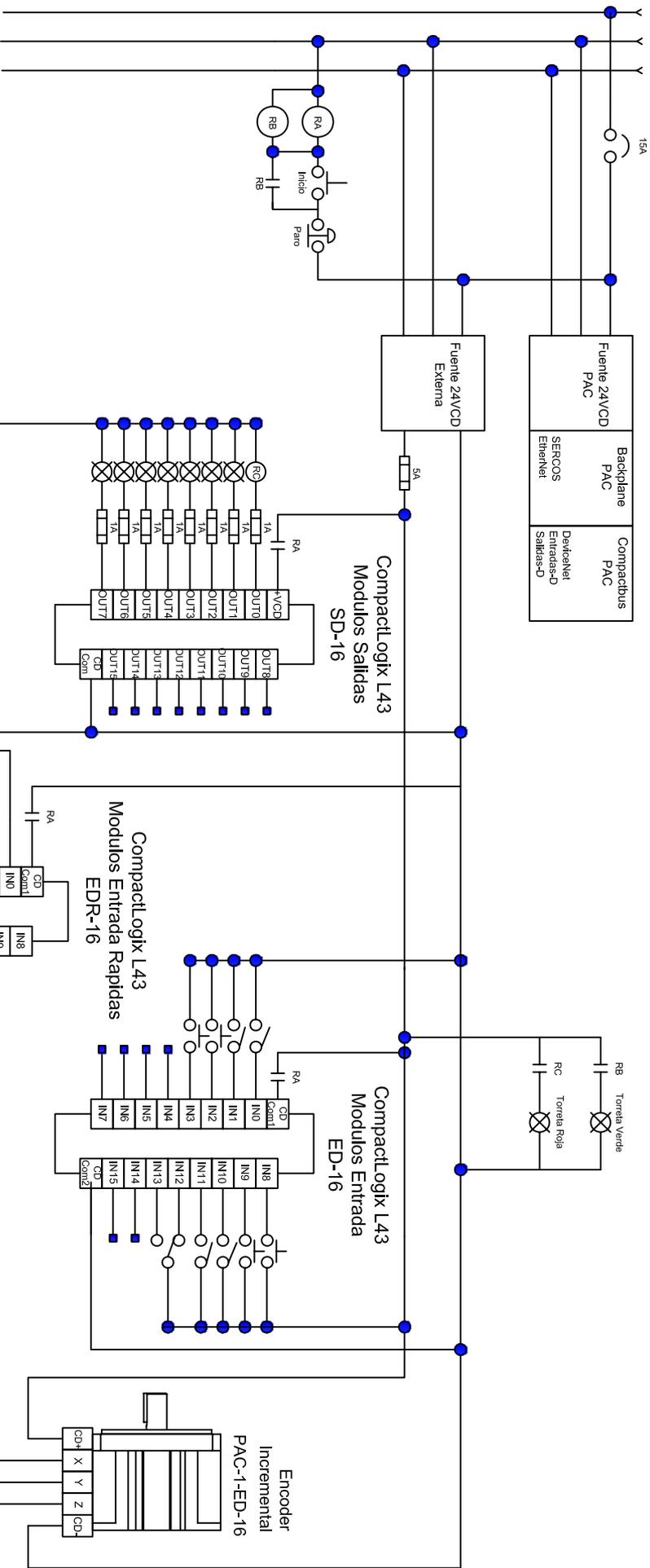
Revisión-Autorización: Pedro Huerta G.

IPN | 1 | 10/11/09 | Conexiones de potencia | Hoja 4 de 10 | PT-MD-D-1.1

Sistema de Carrete

One-phase power

L1 N \downarrow



Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, Zac.

Escala: Sin Escala | Fecha Elaboración: 20/10/09 | Elaborador:Gutierrez Urra A

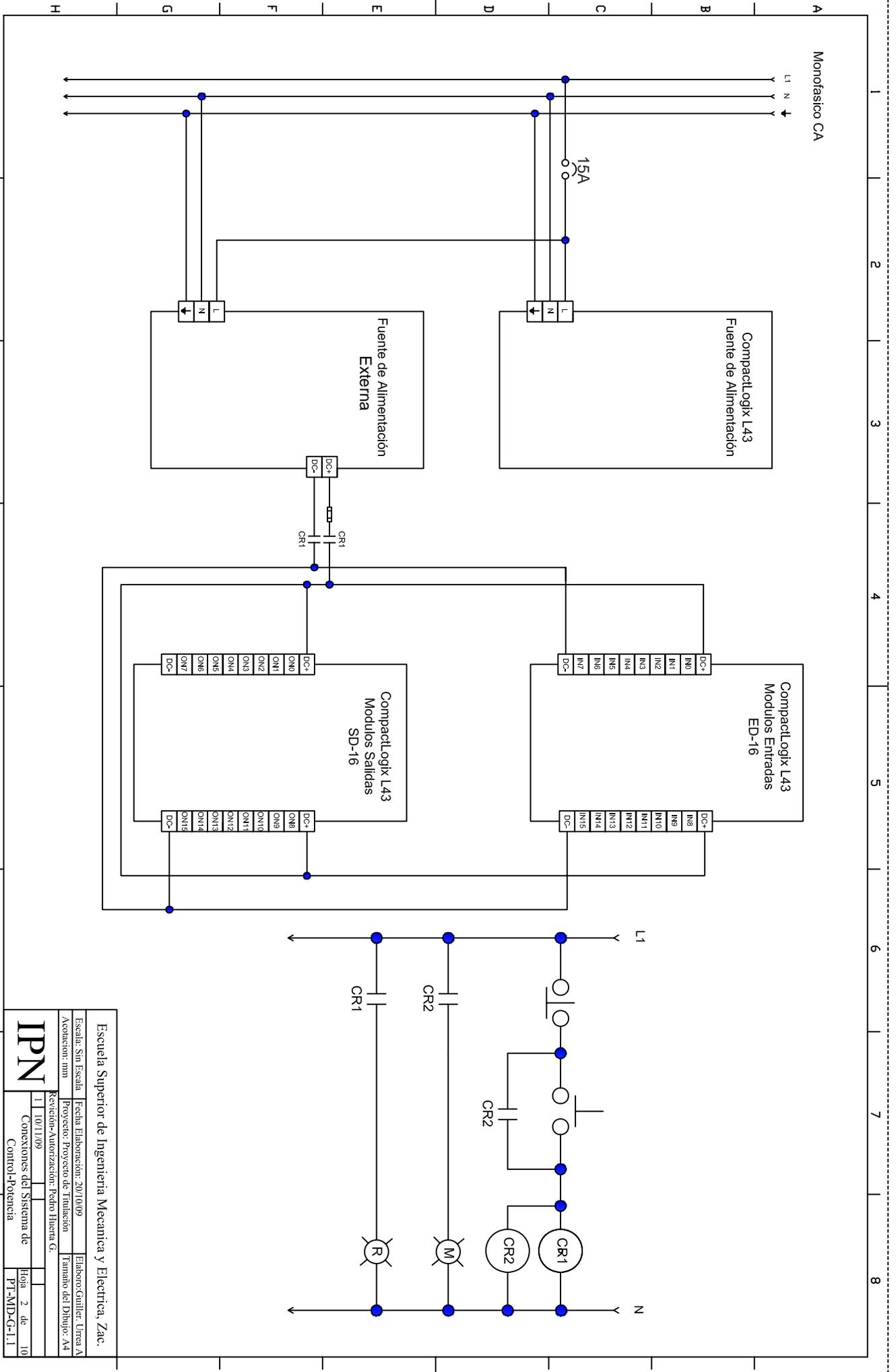
Acortación: mm | Proyecto: Proyecto de Titulación | Tamaño del Dibujo: A4

Revisión-Autorización: Pedro Huerta G.

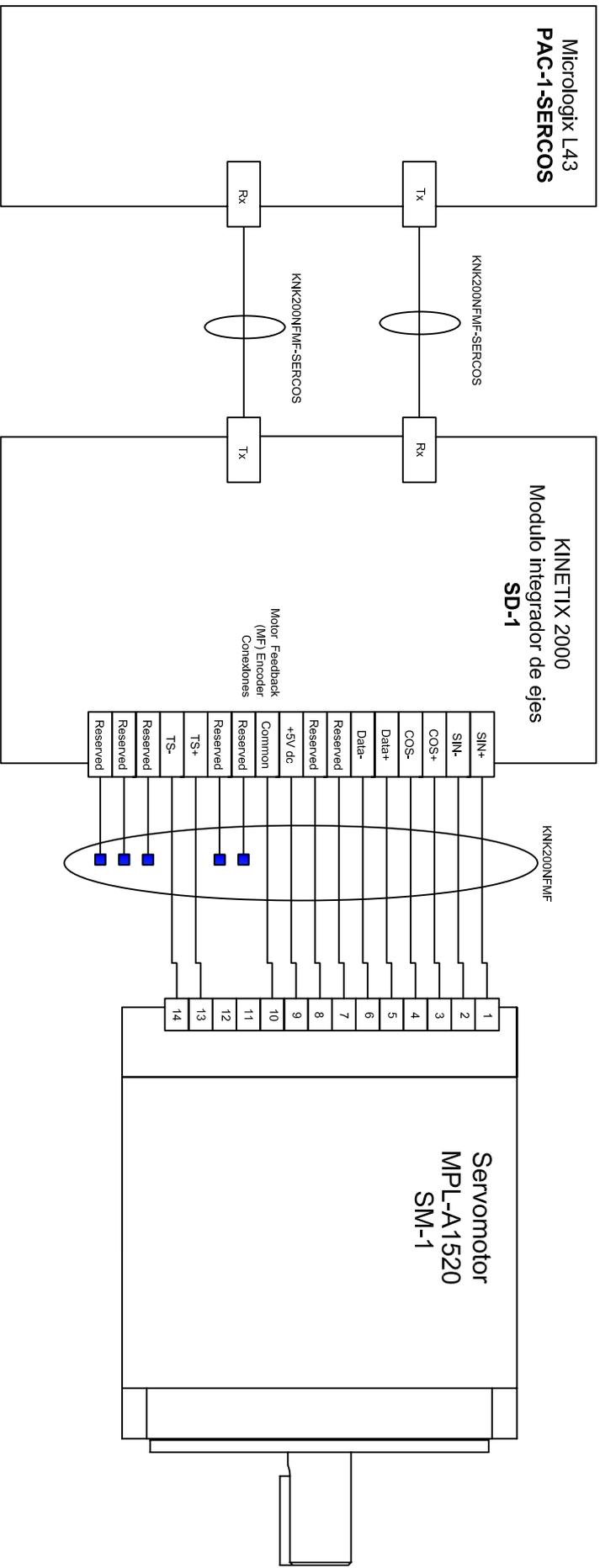
1 | 10/11/09 | Hoja 3 de 10

Control-Control | PT-MD-G-1.1



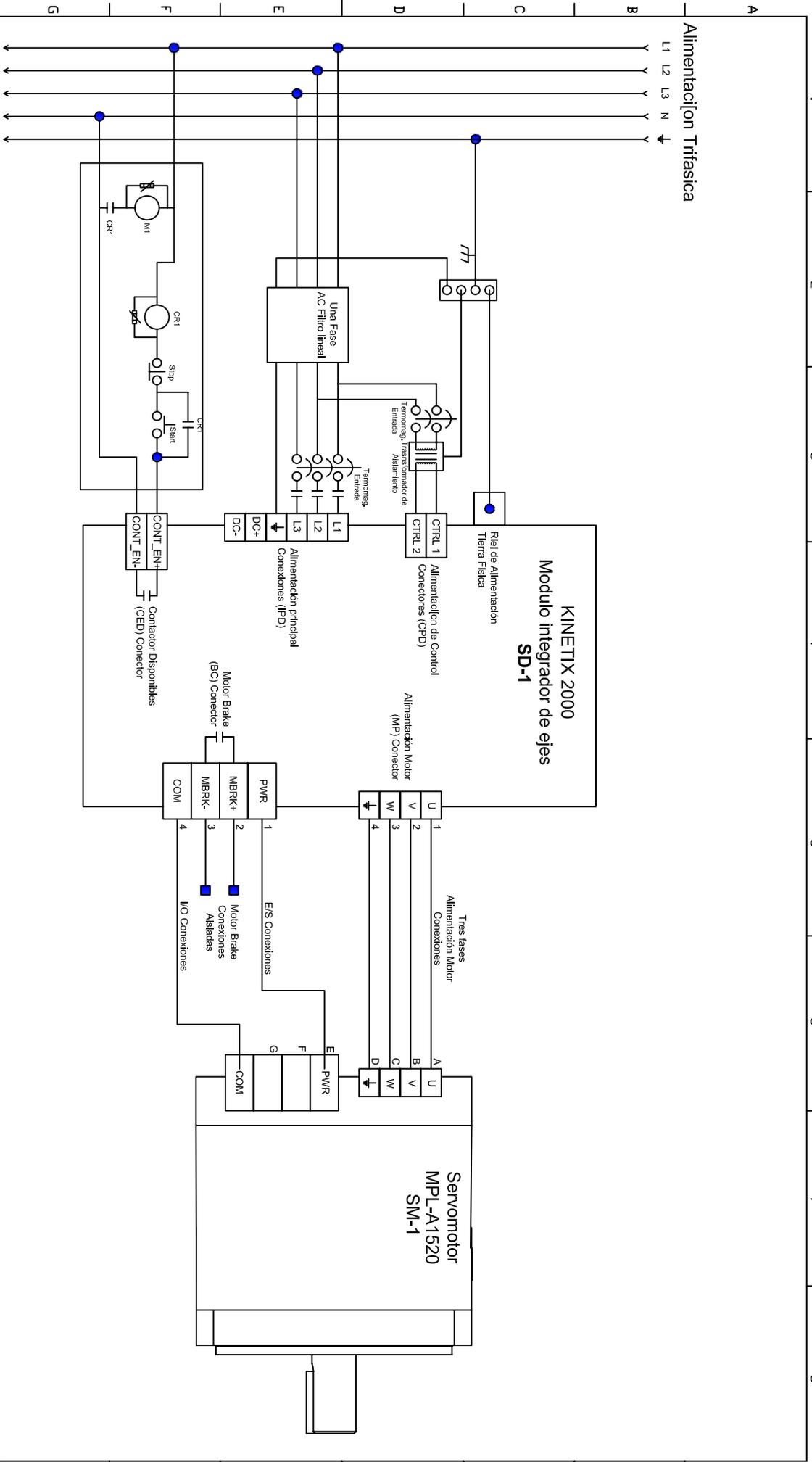


Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, Zac.			
Escuela: Sin Escala	Fecha Elaboración: 20/10/09	Elaboro: Guillen, Urra A	
Acreditación: mm	Proyecto: Proyecto de Titulación	Tamaño del Dibujo: A4	
Revisión-Autorización: Pedro Huerta G.			
1	10/11/09		
Conexiones del Sistema de		Hoja	2 de 10
Control-Preferencia		PT-MD-G-1.1	



Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, Zac.

Escuela: Sin Escala	Fecha Elaboración: 20/10/09	Elaboro: Guillen, Urra A
Acotación: mm	Proyecto: Proyecto de Titulación	Tamaño del Dibujo: A4
Revisión: Autorización: Pedro Huerta G.		
1	10/11/09	
Conexiones de Control		Hoja 7 de 10
IPN		PT-MD-SD-1.1
Sistema de Guía		



Alimentación Trifásica

KINETIX 2000
Modulo Integrador de ejes
SD-1

Servomotor
MPL-A1520
SM-1

Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, Zac.	
Escala: Sin Escala	Fecha Elaboración: 20/10/09
Acotación: mm	Proyecto: Proyecto de Titulación
Revisión-Autorización: Pedro Huerta G.	Elaboro:Guiller. Urea A
1 10/11/09	1 16/05/10
Conexiones de potencia	
Hoja 6 de 10	
PT-MD-SD-1.1	

IPN