



**Universidad Autónoma de Querétaro**

Facultad de ingeniería

**Desarrollo e implementación de una arquitectura abierta eléctrica y electrónica para un robot de 6 grados de libertad**

**TESIS**

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de Ingeniero en Automatización con Línea Terminal en Sistemas Mecatrónicos.

**Presenta**

Froylán Correa Martínez

**Asesor de tesis**

Dr. Juvenal Rodríguez Reséndiz

Querétaro, Qro., Mayo, 2014



Universidad Autónoma de Querétaro  
Facultad de Ingeniería  
Ingeniería en Automatización

Desarrollo e implementación de una arquitectura abierta eléctrica y electrónica para un robot de 6  
grados de libertad

**TESIS**

Que como parte de los requisitos para obtener grado de  
Ingeniero en Automatización con Línea Terminal en Sistemas Mecatrónicos.

Presenta:

Froylán Correa Martínez

Dirigido por:

Dr. Juvenal Rodríguez Reséndiz

**SINODALES**

Dr. Juvenal Rodríguez Reséndiz  
Presidente

\_\_\_\_\_  
Firma

Dr. Édgar Alejandro Rivas Araiza  
Secretario

\_\_\_\_\_  
Firma

Ing. Alejandro García González  
Suplente

\_\_\_\_\_  
Firma

M. en C. José Marcelino Gutiérrez Villalobos  
Suplente

\_\_\_\_\_  
Firma

\_\_\_\_\_  
Dr. Aurelio Domínguez González  
Director de la Facultad de Ingeniería

\_\_\_\_\_  
Dr. Juvenal Rodríguez Reséndiz  
Coordinador de Ingeniería en Automatización

Centro Universitario  
Querétaro, Qro.  
20/Mayo/2014  
México

## Resumen

Actualmente la automatización y la robótica industrial desempeñan en conjunto un papel fundamental en la manufactura de la mayoría de los productos usados en el mundo moderno. Es por ello que el desarrollo de nuevos sistemas robóticos adquiere una relevancia particular para la sustentabilidad de las empresas. La presente tesis se centra en el diseño de una arquitectura abierta eléctrica y electrónica usando esquemáticos y la implementación de un nuevo sistema de alimentación y control para un robot manipulador de seis grados de libertad *Nachi SA160F-01*. Para esto, se integraran servo drives Estun de la serie EDB, un controlador de movimiento DMC-1866 de Galil Motion y una interfaz con el usuario por medio de una PC. El objetivo del trabajo es la rehabilitación del robot industrial y la documentación de diagramas, tablas e información técnica útil para la mejora continua del sistema.

Palabras clave: Robótica industrial, Servodrive, Tecnología

## **Abstract**

Currently, industrial robotics and automation together play a central role in the manufacture of most products used in the modern world. That is why the development of new robotic systems has particular relevance for the sustainability of companies. The present thesis focuses on the design of an open architecture using electrical and electronic schematic and the implementation of a new supply and control system for a robot manipulator with six degrees of freedom Nachi SA160F-01. For this we will integrate servo drives Estun EDB Series, a motion controller Galil DMC-1866 and a PC interface. The aim of this work is the rehabilitation of the industrial robot and documentation of diagrams, charts and technical information useful for continual improvement.

Keywords: Industrial robotics, servo, Technology

“Agradezco primero, a la fuerza suprema, fuente de todo conocimiento y sustento, sin la que no podríamos siquiera imaginar ser testigos y participes del magnífico y asombroso acto de conocer, para después, hacer ciencia”

## **Agradecimientos**

Me encuentro muy feliz de concluir este ciclo, que siempre consiguió esforzar al máximo nuestras capacidades y exigimos ser mejores todos los días. Por lo que agradezco enormemente a mis padres Ma. Soledad y Froylán, a mi hermano Brandon y a toda mi familia por el apoyo incondicional, consejo y resguardo.

Agradezco al Dr. Juvenal Rodríguez Reséndiz por su gran apoyo, su paciencia y por la dirección de este trabajo. Así mismo, a la M.D.M. Carmen Sosa Garza por su tutoría, consejos y ayuda, y a todos los profesores de la facultad, que en su momento transmitieron sin reserva sus conocimientos, experiencias de vida y valores.

También quiero agradecer a mis compañeros Ángel Escobar Rodríguez, Bruno Alberto Cervantes Villegas, Alberto Israel Horta Guerra, Jesús Contreras Medina, Héctor Arturo Mauricio Martínez, Rubén Dorantes Rubio y Elizabeth Hernández de Jesús por su incomparable amistad, apoyo y compañía.

Quisiera agradecer al Ing. William Iñiguez Martínez, a Daniel Mario Tapia Macedo y especialmente a Jutzill Berenice Mañón Aguado por su compañía en grandes descubrimientos, su apoyo y transmitirme aquella sabiduría de la vida cotidiana que me ha dado el valor de culminar mis estudios y la posibilidad de pensar en grande para beneficio de todos.

Por último y no menos importante agradezco a todos aquellos compañeros y amigos que estuvieron en el momento justo y tuvieron a bien compartir su tiempo, conocimientos y experiencias

## Índice general

<b>Resumen</b> .....	III
<b>Abstract</b> .....	IV
<b>Agradecimientos</b> .....	VI
<b>Índice de figuras</b> .....	X
<b>Índice de tablas</b> .....	XI
<b>1. Introducción</b> .....	1
1.1. Robótica industrial.....	2
1.1.1. Ventajas de la robótica industrial .....	3
1.2. Robot manipulador.....	4
1.3. Sistema robótico .....	6
1.4. Antecedentes .....	8
1.4.1. Antecedentes de robots industriales realizados en la Universidad Autónoma de Querétaro.....	8
1.4.2. Estadísticas de ventas mundiales de robots industriales .....	9
1.5. Planteamiento del problema.....	11
1.6. Descripción del proyecto.....	12
1.7. Objetivos .....	13
1.7.1. General .....	13
1.7.2. Específicos.....	13
<b>2. Fundamentación teórica</b> .....	15
2.1. Robot industrial Nachi SA160F-01i.....	15
2.1.1. Características generales.....	15
2.2. Anatomía del robot.....	15
2.3. Notación de las articulaciones.....	17
2.4. Movimientos de robot.....	19
2.5. Servomotores.....	20
2.6. Encoder.....	21
2.7. Servodrive.....	23

2.8.	Frenos electromecánicos .....	25
2.9.	Controlador .....	28
2.10.	Conectores.....	30
2.10.1.	Conectores principales.....	30
2.10.2.	Conectores de motores .....	32
2.10.3.	Conectores de encoder .....	34
<b>3.</b>	<b>Metodología .....</b>	<b>34</b>
3.1.	Diseño e implementación una red de suministro de energía para el sistema robótico .....	35
3.1.1.	Caracterización de las señales de encoder.....	38
3.2.	Caracterización de señales .....	37
3.2.1.	Caracterización de las señales de motor .....	37
3.3.	Implementación de <i>servo drives</i> para controlar cada servomotor .....	38
3.4.	Control automático de frenos mecánicos .....	39
3.5.	Control de los actuadores del robot .....	40
3.6.	Control del brazo robótico mediante lenguaje DMC .....	40
3.6.1	Clasificación y descripción general del lenguaje DMC.....	41
3.6.2	Relación de cuentas con desplazamiento angular .....	43
3.7.	Control del robot.....	44
3.7.1.	Comandos en lenguaje DMC para control del robot .....	44
3.7.2.	Notación Denavit-Hartenberg.....	47
<b>4.</b>	<b>Resultados y conclusiones .....</b>	<b>49</b>
4.1	Resultados .....	49
4.1.1.	Consideraciones de seguridad.....	51
4.1.2.	Operación del robot.....	51
4.1.3.	Problemas y troubleshooting .....	56
4.2.	Conclusiones.....	59
4.3.	Posibles aplicaciones.....	59
4.3.1.	Académicas e investigación .....	59
4.3.2.	Industriales.....	60
4.3.3.	Sociedad .....	60

<b>Bibliografía</b> .....	61
<b>5. Apéndice</b> .....	62
5.1. Relación de pines para conexiones de motores.....	62
5.2. Relación de pines para conexiones de encoder.....	65
5.3. Arquitectura eléctrica de Servodrives y motores .....	68
5.4. Diagrama de conexión de motores .....	70
5.5. Diagramas de conexión de servodrives .....	77

## Índice de figuras

<b>Figura 1.1.</b> Robots industriales realizando una tarea automática en una línea de ensamblaje.....	3
<b>Figura 1.2.</b> Articulación robótica rotacional (izquierda) y traslacional (derecha)....	5
<b>Figura 1.3.</b> Brazo robótico antropomórfico.....	5
<b>Figura 1.4.</b> Esquema de un sistema robótico. ....	8
<b>Figura 1.5.</b> Venta anual estimada de robots industriales.....	10
<b>Figura 1.6.</b> Venta anual estimada de robots industriales por tipo de industria. ...	11
<b>Figura 1.7.</b> Robot industrial <i>Nachi</i> SA160F-01i.....	12
<b>Figura 2.1.</b> Dimensiones y espacio de trabajo para un robot <i>Nachi</i> SA160F-01i.	16
<b>Figura 2.10.</b> Esquema del subsistema de control del <i>Nachi</i> SA160F-01i. ....	30
<b>Figura 2.11.</b> Conectores macho de salida para cable de control.....	31
<b>Figura 2.12.</b> Conector hembra del cable de control general CNRO1A, CNRO1, CNRO2, CNR04 Y CNR010.....	31
<b>Figura 2.13.</b> Conector macho para servomotores. ....	32
<b>Figura 2.14.</b> Conector hembra de cable de control para servomotores M1, M2 y M3.....	33
<b>Figura 2.15.</b> Conector hembra de cable de control para servomotores M4, M5 y M6.....	33
<b>Figura 2.16.</b> Pines utilizados en el conector de encoder. ....	34
<b>Figura 2.2.</b> Notación para el brazo robótico .....	18
<b>Figura 2.3.</b> Notación para la muñeca del robot.....	18
<b>Figura 2.4.</b> Encoder TS5214N578, marca Tamagawa Seiki.....	22
<b>Figura 2.5.</b> Señales de encoder incremental con rotación en sentido horario ....	23
<b>Figura 2.6.</b> Servodrive de la marca Estun, serie EDB. ....	25
<b>Figura 2.7.</b> Elementos de un freno electromecánico. ....	26
<b>Figura 2.8.</b> Diagrama de un freno electromecánico ensamblado. ....	27
<b>Figura 2.9.</b> Modulo ICM 2900. ....	29
<b>Figura 3.1.</b> Switch de alimentación principal.....	35
<b>Figura 3.2.</b> Switch de alimentación de servodrive. ....	36
<b>Figura 3.3.</b> Transformador y fuentes de DC de 24V. ....	37

<b>Figura 4.1.</b>	Gabinete de control para el robot industrial Nachi SA160F-01i.....	49
<b>Figura 4.2.</b>	Conectores tipo J de 45 pines del gabinete de control. ....	50
<b>Figura 4.3.</b>	Switch RUN y de control de frenos electromecánicos. ....	52
<b>Figura 4.4.</b>	Relevador de control de frenos electromecánicos.....	52
<b>Figura 4.5.</b>	Conexión trifásica .....	53
<b>Figura 4.6.</b>	Clavija trifásica de seguridad.....	54
<b>Figura 4.7.</b>	Enchufe y clavija de seguridad conectada. ....	54
<b>Figura 4.8.</b>	Relevadores de control de frenos electromecánicos montados. ....	56
<b>Figura 5.1.</b>	Arquitectura eléctrica de servodrives y motores .....	69
<b>Figura 5.2.</b>	Conexión de motor M1 .....	71
<b>Figura 5.3.</b>	Conexión de motor M2 .....	72
<b>Figura 5.4.</b>	Conexión de motor M3 .....	73
<b>Figura 5.5.</b>	Conexión de motor M4 .....	74
<b>Figura 5.6.</b>	Conexión de motor M5 .....	75
<b>Figura 5.7.</b>	Conexión de motor M6 .....	76
<b>Figura 5.8.</b>	Conexión de servodrive, Eje J1.....	78
<b>Figura 5.9.</b>	Conexión de servodrive, Eje J2.....	79
<b>Figura 5.10.</b>	Conexión de servodrive, Eje J3.....	80
<b>Figura 5.11.</b>	Conexión de servodrive, Eje J4.....	81
<b>Figura 5.12.</b>	Conexión de servodrive, Eje J5.....	82
<b>Figura 5.13.</b>	Conexión de servodrive, Eje J6.....	83

## Índice de tablas

<b>Tabla 1.1.</b> Antecedentes de trabajos realizados en la Facultad de Ingeniería. ....	9
<b>Tabla 2.1.</b> Relación entre la notación de los ejes y sus actuadores.....	17
<b>Tabla 3.1.</b> Relación de las cuentas en código DMC y desplazamiento angular del motor en grados.....	44
<b>Tabla 3.2.</b> Parámetros de Denavit.Hartenberg para el robot industrial Nachi SA160F-01i.....	48
<b>Tabla 4.1.</b> Tabla de troubleshooting del sistema robótico.....	58
<b>Tabla 5.1.</b> Relación y caracterización de pines del motor 1.....	62
<b>Tabla 5.2.</b> Relación y caracterización de pines del motor 2.....	63
<b>Tabla 5.3.</b> Relación y caracterización de pines del motor 3.....	63
<b>Tabla 5.4.</b> Relación y caracterización de pines del motor 4.....	64
<b>Tabla 5.5.</b> Relación y caracterización de pines del motor 5.....	64
<b>Tabla 5.6.</b> Relación y caracterización de pines del motor 6.....	65
<b>Tabla 5.7.</b> Relación de pines del encoder para el motor 1.....	65
<b>Tabla 5.8.</b> Relación de pines del encoder para el motor 2.....	66
<b>Tabla 5.9.</b> Relación de pines del encoder para el motor 3.....	66
<b>Tabla 5.10.</b> Relación de pines del encoder para el motor 4.....	67
<b>Tabla 5.11.</b> Relación de pines del encoder para el motor 5.....	67
<b>Tabla 5.12.</b> Relación de pines del encoder para el motor 6.....	68

### 1. Introducción

A través del tiempo, la humanidad ha intentado constantemente encontrar un sustituto que pueda ser capaz de imitar su comportamiento en las varias instancias de interacción con su medio circundante (Bruno Siciliano, 2009). A partir de la revolución industrial y con la creación de nuevas necesidades de producción en masa, esta curiosidad por dotar a artefactos con movimiento, junto con los avances en las áreas de la electricidad, electrónica, informática y matemáticas; dieron lugar a la robótica, como respuesta a las necesidades de la sociedad de producir bienes a un bajo costo y a gran escala de producción.

Es así que con el surgimiento de los nuevos modelos económicos, como el capitalismo y más recientemente, el neoliberalismo; se puede notar, más que nunca, la estrecha relación entre el crecimiento económico y la evolución de la tecnología, específicamente con la evolución e integración de la robótica a los medios de producción.

Al observar la creciente tendencia de la industria hacia la automatización; la investigación y el desarrollo sobre sistemas robóticos se vuelve indispensable para la Universidad.

Actualmente, la robótica industrial desempeña un papel principal en cuanto a la manufactura de productos de vital importancia en el mundo moderno, dado que es una herramienta sumamente flexible y adaptable a diversas tareas. Ha sido adoptada por casi todas las industrias para aumentar la productividad de sus procesos y reducir costos de fabricación, por lo cual, el desarrollo de sistemas robóticos eficientes y económicos adquiere una relevancia particular en cuanto a controlabilidad, seguridad y consumo de energía.

En este capítulo se pretende introducir al lector hacia la robótica industrial, mostrando sus principales características, antecedentes y ventajas. Terminando con la exposición del proyecto, sus objetivos y relevancia.

En el capítulo dos se hace una reseña del robot utilizado para el proyecto, y se introducen a los conceptos que se utilizaran en esta tesis, tales como ejes, articulaciones, servodrives, encoders, etc. Así mismo, se explicara el funcionamiento de los frenos electromecánicos del robot, servodrives y controlador, terminando con la presentación de los conectores que tiene el robot.

En el tercer capítulo se presentaran las caracterizaciones realizadas de los conectores de robot, como se implemento el control sobre los actuadores del robot, y al final se muestra una introducción a la programación en lenguaje DMC de Galil.

En el capítulo 4, se presentaran los resultados obtenidos, observaciones, un manual de usuario para el sistema robótico, consideraciones de seguridad para la operación y una tabla de *troubleshooting*, para resolver problemas que pudieran surgir en una operación futura.

En el quinto capítulo y último, se encuentran tablas de caracterización de conectores y diagramas de conexión de motores y encoders, también se puede observar gráficamente como está conformado el gabinete de control con sus respectivas conexiones entre subsistemas.

## **1.1. Robótica industrial**

Hoy en día la robótica industrial se trata fundamentalmente de dotar flexibilidad a los procesos productivos manteniendo al mismo tiempo la productividad que se consigue con una máquina automática especializada(robot), por esta razón, actualmente se observa una tendencia a la integración de la robótica industrial en la técnicas de automatización y manufactura de las industrias (Santos, 2012).

De acuerdo con el “*Robot Institute of América*” un robot es un manipulador multifuncional programable diseñado para mover materiales, herramientas o dispositivos especiales a través de un movimiento variable programado para la ejecución de una tarea específica de manufactura (Baturone, 2006).

Una adecuada integración de la robótica industrial permite la creación de celdas de ensamblaje automatizadas, que permiten incrementar el volumen de producción manteniendo la calidad de los productos. La flexibilidad de la robótica industrial, el uso de herramientas intercambiables y sistemas reprogramables, permite equipar robots industriales con diferentes herramientas para desempeñar tareas diversas a lo largo de una línea de producción. El dominio de la robótica industrial, en conjunto con las modernas técnicas de manufactura industrial y redes industriales, permite el diseño e implementación de grandes líneas de manufactura. En la figura 1.1 se observa una celda robótica manufacturando productos para la industria automotriz.



**Figura 1.1.** Robots industriales realizando una tarea automática en una línea de ensamblaje.

### 1.1.1. Ventajas de la robótica industrial

En el siguiente párrafo se analizan los objetivos más importantes del uso de la robótica industrial (Usategui, 2000).

- Aumento de la productividad. Esto se consigue optimizando la velocidad de trabajo del robot, que reduce el tiempo parcial a cargo del manipulador. **No se encuentran elementos de tabla de ilustraciones.**
- Potenciar la flexibilidad
- Optimizar el rendimiento de otras máquinas y herramientas
- Conseguir una rápida amortización de la inversión. Sustitución de la mano de obra, mejor uso de las herramientas, menores pérdidas en material residual pocas averías y reducido mantenimiento.
- Mejorar la calidad de los productos fabricados
- Realizar trabajos en condiciones hostiles y peligrosas

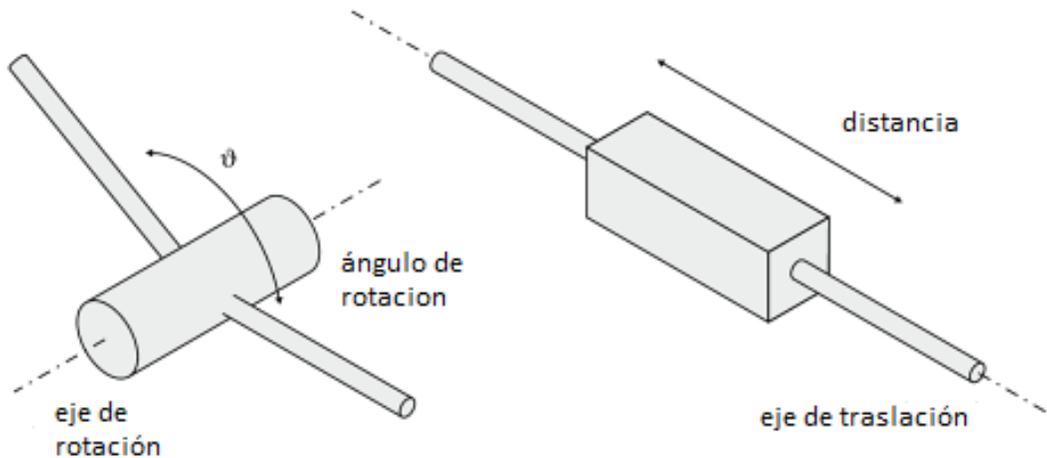
### 1.2. Robot manipulador

Un manipulador, en general es un sistema mecánico dirigido a manipular objetos. Siendo más específicos, un robot manipulador es un sistema robótico orientado a ayudar al hombre en una tarea de manipulación, que para este le es imposible dada su peligrosidad, destreza requerida o velocidad de procesos.

La estructura mecánica de un robot manipulador consiste en una secuencia de cuerpos rígidos (links o enlaces) interconectados entre sí por medio de articulaciones (joints) (Bruno Siciliano, 2009). Una articulación tiene solamente un grado de libertad, y este puede ser rotacional o traslacional.

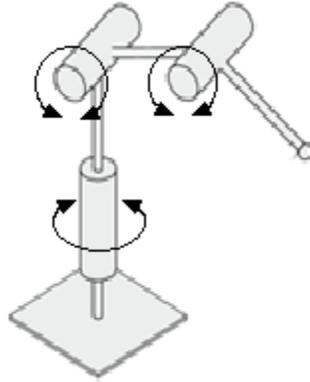
- a) *Rotacional*: Tiene forma de bisagra y limita el movimiento de dos enlaces vecinos mediante una rotación alrededor del eje de la articulación. La posición relativa del segmento esta dado por el ángulo de rotación alrededor del eje (**Figura 1.2**).

- b) *Traslacional*: Restringe el movimiento de dos enlaces vecinos a únicamente a una traslación lineal. La posición relativa entre los 2 enlaces es medida como una distancia (**Figura 1.2**).



**Figura 1.2.** Articulación robótica rotacional (izquierda) y traslacional (derecha).  
(Bruno Siciliano, 2009)

Las articulaciones de un robot son siempre traslacionales o rotacionales y las relaciones entre estos 2 enlaces vecinos son siempre paralelos o perpendiculares. Se le conoce como brazo robótico a la unión de 3 enlaces mediante tres articulaciones en serie, generando así 3 grados de libertad. Existen una limitada cantidad de combinaciones para formar brazos manipuladores según el tipo y disposición de las articulaciones. De estas combinaciones solo 12 son funcionalmente diferentes y en el mercado encontramos cinco estructuras diferentes: antropomórfica, esférica, cilíndrica, cartesiana y SCARA (Selective Compliant Articulated Robot Arm).



**Figura 1.3.** Brazo robótico antropomórfico. (Bruno Siciliano, 2009)

El brazo antropomórfico (**Figura 1.3**) tiene tres articulaciones tipo rotacional. Colocadas de forma que emula el funcionamiento de un brazo humano. El segundo eje de rotación es perpendicular al primero, mientras que el tercer eje es paralelo al segundo.

En este caso, un robot industrial requiere de 6 grados de libertad rotacionales, distribuidos en 3 segmentos para el brazo robótico y 3 segmentos para una muñeca articulada, los segmentos del brazo robótico son relativamente largos. La tarea del brazo robótico es proveer de la posición deseada para el punto final del robot. Los segmentos de la muñeca del robot son más cortos, la tarea de la muñeca del robot es brindar la orientación deseada del órgano final o *end-effector* del robot (Bajd, 2010). Al conjunto físico que hace las veces de articulaciones y ejes del brazo manipulador, se le llama sistema mecánico o hardware del sistema robótico.

### **1.3. Sistema robótico**

Se podría definir como sistema, al conjunto de otros subsistemas organizado de forma tal que responde con una acción inteligente a los estímulos que es capaz de percibir.

En el caso de los sistemas robóticos, este sistema está compuesto de subsistemas que en su conjunto y sincronía permite el movimiento controlado del manipulador. Estos subsistemas son:

- Subsistema mecánico: Conjunto de eslabones y ejes que componen la estructura física del robot industrial.
- Subsistema de censado: Lo componen todos los sensores que retroalimentan al control del robot con información sobre posición, velocidad y torque.
- Subsistemas de actuadores: Compuesto por maquinas eléctricas que transmiten una fuerza de torque a los ejes del brazo manipulador.
- Controlador: Está compuesto por el controlador de movimiento y una interfaz de potencia que alimenta al sistema robótico.
- Subsistema de procesado de información: Además de ser el sistema procesa toda la información, es la interfaz con el usuario para introducir comandos.

Adicionalmente estos subsistemas se comunican entre sí mediante interfaces, cuya función es básicamente decodificar la información transmitida de un medio a otro (Angeles, 2002).

En la **figura 1.4** se muestra una ilustración donde se observa una arquitectura de un sistema robótico, se puede observar cómo se racionan los elementos entre sí. La dirección de la flecha indica el sentido de flujo de datos hacia cada subsistema.

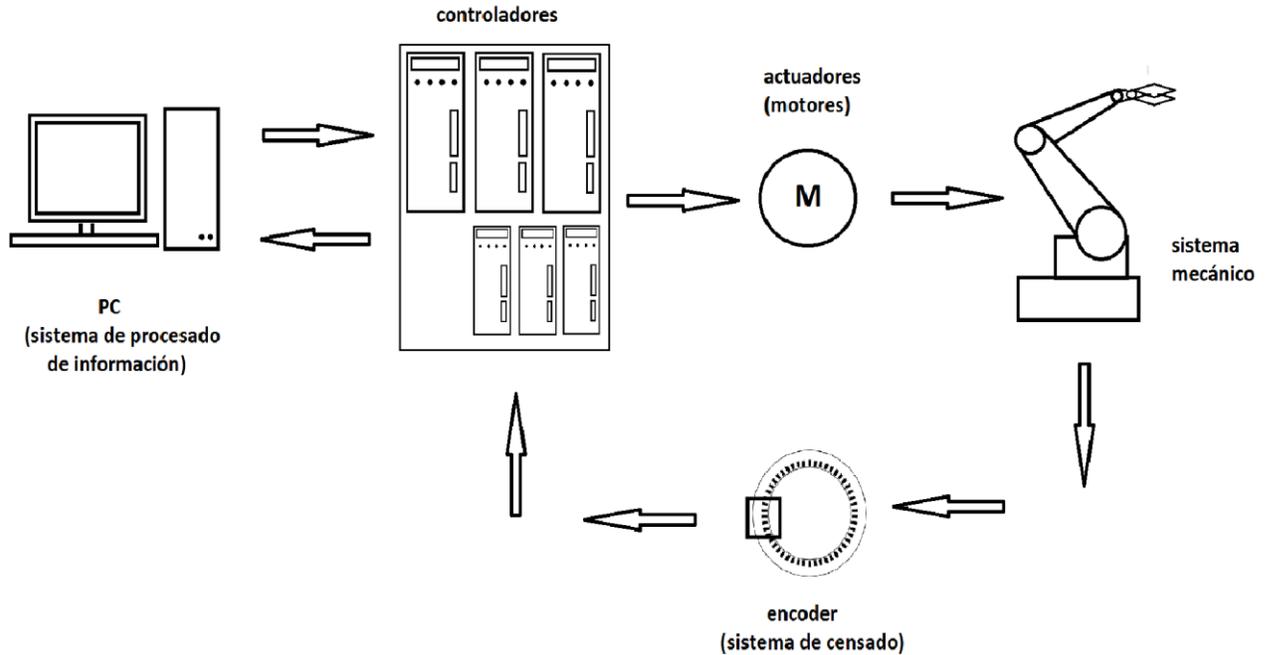


Figura 1.4. Esquema de un sistema robótico.

## 1.4. Antecedentes

### 1.4.1. Antecedentes de robots industriales realizados en la Universidad Autónoma de Querétaro.

A continuación se muestran algunos trabajos realizados en la Facultad de Ingeniería, relacionados con el control y aplicaciones de robots industriales:

TITULO	AÑO	AUTOR	DESCRIPCIÓN
<b>Brazo-robot automático</b>	1996	Roberto Cruz Villeda	Conocer la aplicación de métodos para la automatización de un proceso de extracción de piezas de una inyectora horizontal neumática por medio de un brazo robótico.

<b>Brazo manipulador</b>	2002	José Antonio Hernández González, Carlos Augusto López Barrón	Describe aplicaciones y facilidades del control de autómatas programables por medio de controladores lógicos programables (PLC).
<b>Control de robots de eslabones rígidos con uniones rotativas considerando la dinámica de actuadores</b>	2011	Roberto Valentín Carrillo Serrano	Se centra en los esquemas de control y estabilidad en robots manipuladores de eslabones rígidos considerando la dinámica del sistema.  Muestra controladores, sistemas de estabilidad y resultados experimentales de movimiento de motores BLDC Y BDC.

**Tabla 1.1.** Antecedentes de trabajos realizados en la Facultad de Ingeniería.

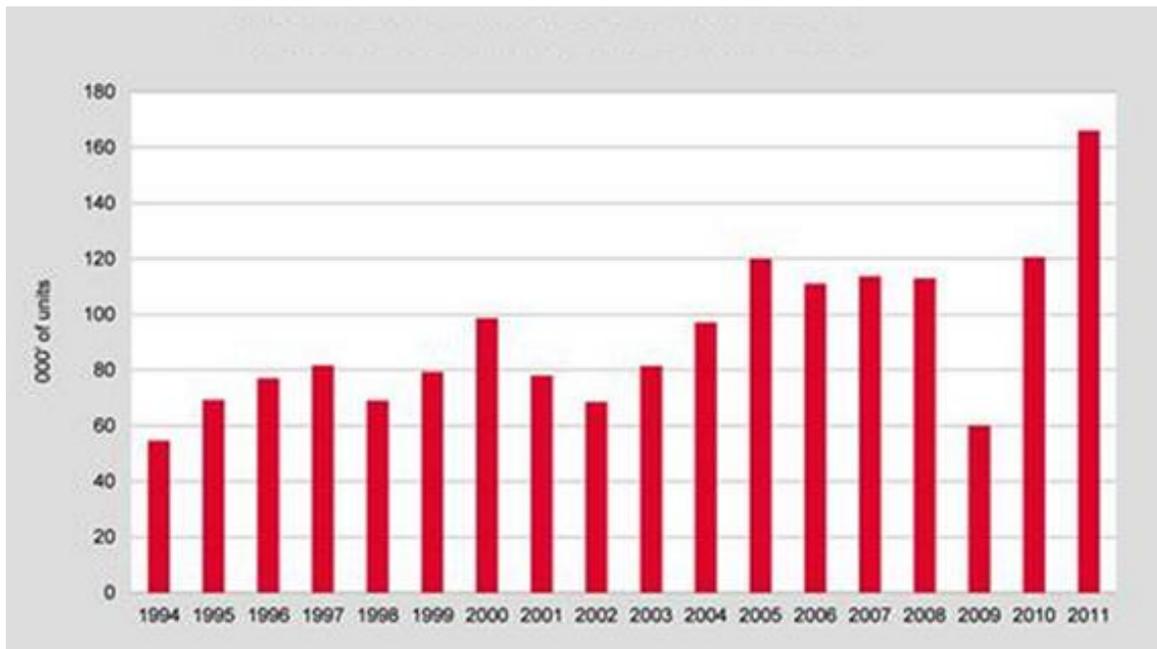
Al analizar los trabajos de investigación realizados anteriormente en la facultad, se puede observar que no se ha desarrollado un sistema de control tomando en cuenta la arquitectura eléctrica y electrónica para un robot industrial de las dimensiones del *Nachi SA160F-01i*.

#### **1.4.2. Estadísticas de ventas mundiales de robots industriales**

Los robots industriales de hoy en día realizan una amplia variedad de trabajos para los que son más eficientes y menos costosos que los trabajadores humanos. Las aplicaciones comunes incluyen la manipulación de materiales (las partes móviles de la estación de montaje a otra), soldadura por puntos, pintado, etc. (Henderson, 2006).

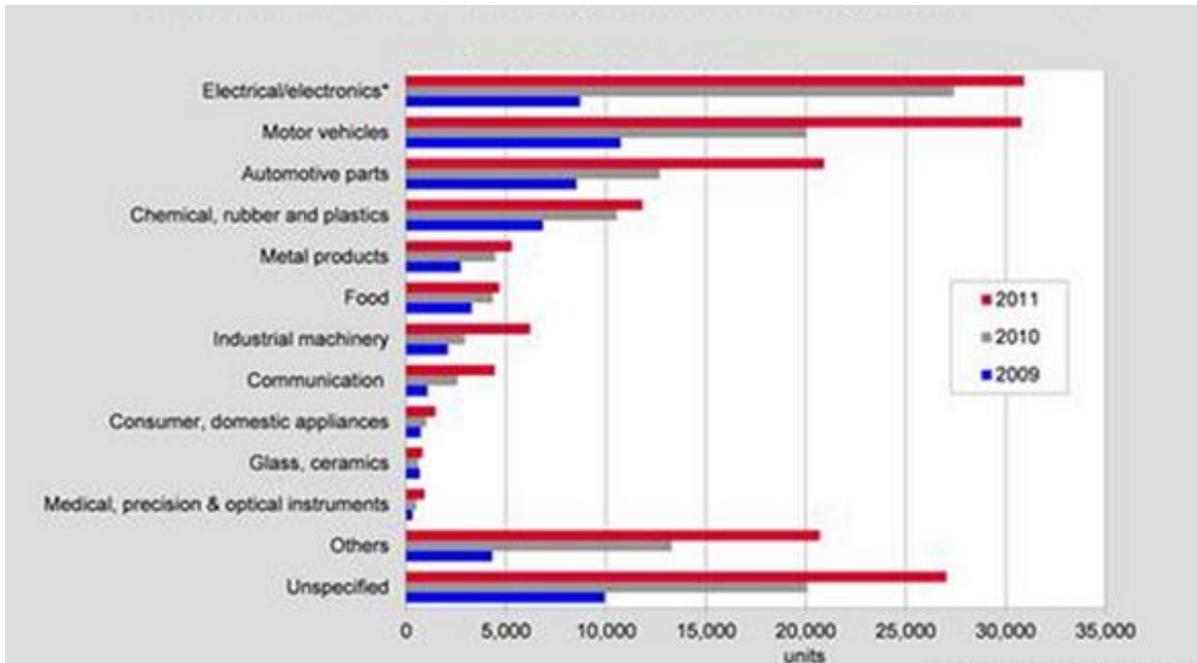
En 2011, las ventas de robots aumentaron 38%, respecto al año anterior, hasta 166.028 unidades; con mucho, el nivel más alto jamás registrado durante un año (**Figura 1.5**). La tendencia hacia la automatización (interrumpido por la crisis en 2009) reinició en 2010 y continuó en 2011. En 2013, las ventas mundiales de robots aumentaron en alrededor de 2%. El Departamento de Estadística de la IFR (International Federation of Robotics) espera que entre 2014 y 2016 las ventas de robots en todo el mundo aumenten en un 6% en promedio por año. En 2016, la oferta anual de robots industriales llegará a más de 190.000 unidades. (International Federation of Robotics, Statistical Department, 2012)

A finales de 2011 el stock total mundial de robots industriales operacionales fue del orden de 1.153.000 y 1.400.000 unidades (International Federation of Robotics, Statistical Department, 2012).



**Figura 1.5.** Venta anual estimada de robots industriales. (International Federation of Robotics, Statistical Department, 2012)

La industria automotriz y la industria de los metales fueron los principales impulsores de la fuerte recuperación (**Figura 1.6**). Los países más importantes del crecimiento fueron China, Estados Unidos y Alemania, con tasas de crecimiento de entre 39% y 51%.



**Figura 1.6.** Venta anual estimada de robots industriales por tipo de industria. **Error! Marcador no definido.** (International Federation of Robotics, Statistical Department, 2012)

Debido a la gran demanda de sistemas robóticos de la industria moderna, la mejora de los medios de producción se realiza de manera constante para atender los estándares de eficiencia, calidad y seguridad.

## 1.5. Planteamiento del problema

La presente tesis surge de la necesidad de rehabilitar un robot industrial *Nachi SA160F-01i* (**Figura 1.7**) donado a la Universidad Autónoma de Querétaro, debido a que este ya había cumplido sus horas de servicio y fue sustituido.

El sistema robótico únicamente cuenta con el brazo robótico, actuadores y cables de comunicación al gabinete de control.



**Figura 1.7.** Robot industrial *Nachi SA160F-01i*.

## 1.6. Descripción del proyecto

Con el presente trabajo se busca dotar a alumnos y docentes de herramientas y documentación que permita rehabilitar un robot industrial *Nachi SA160F-01i*, en todo lo referente al gabinete de control, líneas de alimentación, interfaces y señales.

El robot se encuentra dentro de las instalaciones del laboratorio de mecatrónica, de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Querétaro, mismo que fue donado por el sector industrial, después de haber sido reemplazado en la línea de producción. Se recibió el robot sin tablero de control, documentación o manuales de operación.

Asimismo, la reingeniería contempla la adaptación del mecanismo robótico a nuevos sistemas nuevos de hardware y software de control diferentes al proporcionado por el fabricante originalmente, con lo cual se busca economizar recursos, tanto en el proceso de la reingeniería, como en la puesta en marcha y mantenimiento.

Esta economizarían de recursos se logrará con la integración de servodrives y tarjetas de control de movimiento, con los cuales se disminuyen costos y aumenta la controlabilidad y confiabilidad del sistema completo.

## **1.7. Objetivos**

### **1.7.1. General**

- Implementar un sistema global y nuevo, para un robot *Nachi SA160F-01i* mediante el diseño e implementación de una arquitectura eléctrica y electrónica nueva.

### **1.7.2. Específicos**

- Diseño e implementación de una red de suministro de energía para el sistema robótico.

- Caracterización de las señales de robot.
- Control independiente cada actuador (motor) del robot mediante servo *drives* y una interfaz a una PC.
- Realizar movimientos coordinados usando los seis ejes del robot mediante instrucciones programadas en la PC.
- Obtener diagramas, tablas de datos técnicos sobre la arquitectura eléctrica y electrónica del robot industrial.

### 2. Fundamentación teórica

#### 2.1. Robot industrial Nachi SA160F-01i

*NACHI-Fujikoshi* es uno de los más grandes fabricantes de robots industriales en el mundo y es un proveedor importante de sistemas de robots para la industria de fabricación de automóviles. NACHI ha utilizado esta competencia para desarrollar robots industriales de alta calidad. NACHI ofrece una amplia gama de robots y componentes auxiliares que satisfacen la demanda de la industria de la manufactura moderna.

Un robot *Nachi* tiene una vida útil de 100.000 horas. (Nachi-Fujikoshi)

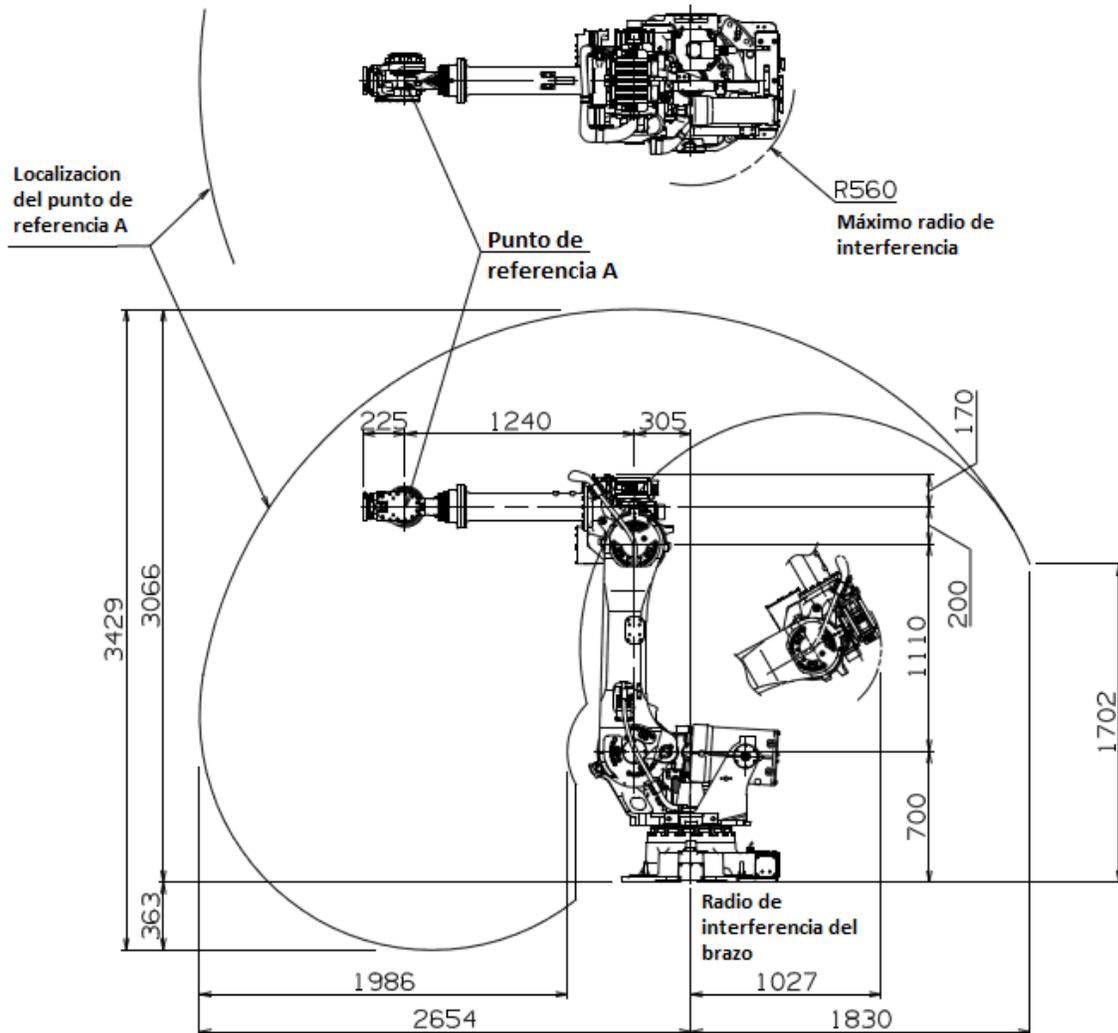
##### 2.1.1. Características generales

- Ejes: 6
- Capacidad de carga: 160 kg
- Alcance: 2597 mm
- Repetibilidad:  $\pm 0.3$  mm
- Peso: 1270 kg
- Estructura: Articulada
- Montaje: Piso

#### 2.2. Anatomía del robot

La anatomía del robot se refiere a la construcción física del cuerpo, brazo y muñeca de la máquina. El robot *Nachi* SA160F-01i propiedad de la Facultad de Ingeniería se encuentra montado sobre una base sujeta al suelo. El cuerpo está unido a la base y el conjunto del brazo esta unido al cuerpo, permitiendo así

controlar la posición en un espacio tridimensional dentro del espacio de trabajo del robot. Al final del brazo se encuentra la muñeca, la cual permite dar orientación al órgano final del robot. La figura (**Figura 2.1**) muestra claramente el espacio de trabajo del robot, así como sus principales dimensiones.



**Figura 2.1.** Dimensiones y espacio de trabajo para un robot *Nachi SA160F-01i*.  
(Nachi-Fujikoshi)

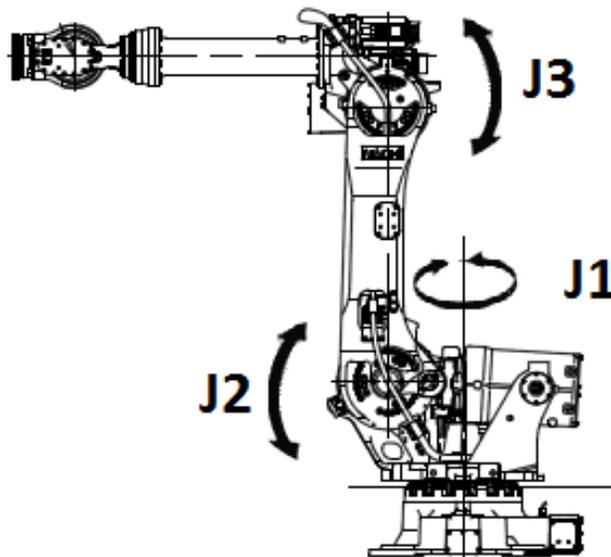
### 2.3. Notación de las articulaciones

Se ha optado por la siguiente nomenclatura (**Tabla 2.1**) para nombrar los diferentes ejes y actuadores que componen el sistema robótico, así como su relación.

NOTACION DEL EJE	ACTUADOR CORRESPONDIENTE	DESCRIPCION DEL EJE
J1	Motor 1 (M1)	Transversal rotacional
J2	Motor 2 (M2)	Transversal radial
J3	Motor 3 (M3)	Transversal vertical
J4	Motor 4 (M4)	Desviación de la muñeca
J5	Motor 5 (M5)	Elevación de la muñeca
J6	Motor 6 (M6)	Giro de la muñeca

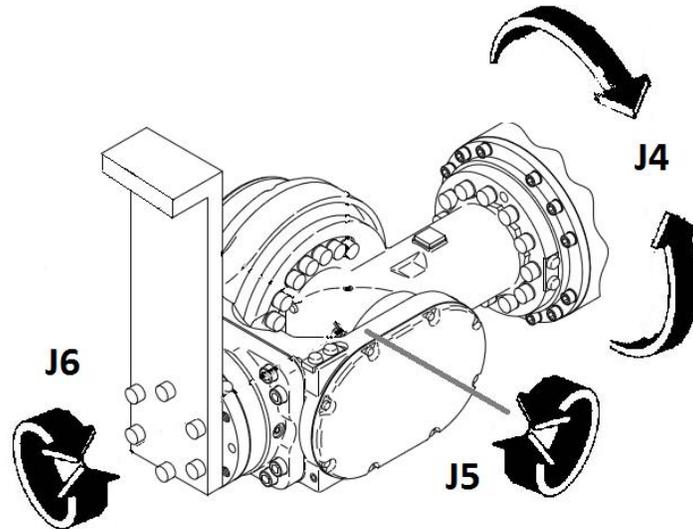
**Tabla 2.1.** Relación entre la notación de los ejes y sus actuadores.

En la siguiente figura se puede observar gráficamente la ubicación y la línea de acción que describen los ejes que componen el brazo robótico.



**Figura 2.2.** Notación para el brazo robótico (Nachi-Fujikoshi).

Al igual que la figura anterior, a continuación se puede ver la línea de acción de los ejes que componen la muñeca del manipulador.



**Figura 2.3.** Notación para la muñeca del robot (Nachi-Fujikoshi)

## 2.4. Movimientos de robot

Los robots industriales están diseñados para realizar un trabajo productivo. El trabajo se realiza permitiendo que el robot desplace el brazo robótico y la muñeca mediante una serie de movimientos y posiciones. Unido a la muñeca está el órgano final o *end effector*, que el robot utiliza para realizar tareas específicas. Los movimientos del robot se realizan mediante articulaciones accionadas mediante servomotores, los cuales mediante su torque, permiten el accionamiento rotacional relativo de cada parte del brazo (Mikell P. Groover, 1990). Las articulaciones del brazo están diseñadas para permitir al efector final desplazarse a una posición deseada.

Según Groover (1990) los 3 grados de libertad asociados con los movimientos del brazo y el cuerpo son:

- Transversal vertical. Proporciona la capacidad de desplazar la muñeca hacia la posición vertical deseada
- Transversal radial. Implica la extensión o retracción del brazo desde el centro vertical del robot.
- Transversal rotacional. Se refiere a la rotación del brazo alrededor del eje vertical

El movimiento de la muñeca está diseñado para permitir al robot orientar adecuadamente el *end effector*, el robot *Nachi SA160F-01i*, al tener una configuración típica, se compone de:

- Giro de la muñeca. Proporciona la rotación del eje de la muñeca, a la altura del efector final alrededor del eje del brazo
- Elevación de la muñeca: Brinda la flexión de la muñeca, en relación al brazo del robot
- Desviación de la muñeca: implica la rotación de toda la muñeca del robot

Para realizar estos movimientos Nachi-Fujikoshi emplea servomotores del tipo PMSM (Permanent Magnet Synchronous Motor) que brindan el torque necesario para el movimiento rotacional de las uniones.

## 2.5 Servomotores

Los motores tipo PMSM proporcionan los atributos de eficiencia y fiabilidad necesarios, también tienen la ventaja adicional de brindar mayor densidad de potencia (energía por unidad de masa o volumen), factor de potencia superiores (baja corriente de operación), la temperatura del rotor de baja, y operación síncrona (Michael J. Melfi, 2009).

Por la arquitectura del robot industrial de brazo manipulador con 6 grados de libertad, se requieren de 3 servomotores para animar el brazo manipulador y otros 3 para animar la muñeca robótica. Cada servomotor es controlado por separado para lograr un movimiento coordinado. Debido a que los servomotores

del brazo manipulador tienen que acelerar y desacelerar toda la estructura del robot, así como la muñeca y la inercia provocada por esta cuando está en movimiento, estos son de mayor capacidad que los 3 servomotores restantes.

A continuación se describen las principales características de los servomotores que componen el brazo manipulador.

<b>Tipo de motor:</b>	<b>PMSM</b>
<b>Modelo:</b>	<b>MFM552H1V</b>
<b>Potencia:</b>	<b>5.5 KW</b>
<b>Velocidad nominal:</b>	<b>2000 rev/min</b>
<b>Torque:</b>	<b>26 Nm</b>
<b>Inercia:</b>	<b><math>82.9 \times 10^{-4} \text{ kg.m}^2</math></b>

Para conseguir la orientación de la muñeca Nachi-Fujikoshi emplea, igualmente, servomotores del tipo PMSM pero de menor potencia a los actuadores del brazo robótico, ya que la demanda de la misma es menor, debido al trabajo final que desempeñan.

A continuación se describen las características de los motores que animan la muñeca del robot.

<b>Tipo de motor:</b>	<b>PMSM</b>
<b>Modelo:</b>	<b>MDM212H1V</b>
<b>Potencia:</b>	<b>2.1 KW</b>

<b>Velocidad nominal:</b>	<b>2000 rev/min</b>
<b>Torque:</b>	<b>9.8 Nm</b>
<b>Inercia:</b>	<b><math>16.7 \times 10^{-4} \text{ kg.m}^2</math></b>

## 2.6. Encoder

Un encoder es un dispositivo electrónico que es capaz de convertir un desplazamiento rotacional en una señal digital sin necesidad de convertidor analógico digital. La medida de desplazamiento se realiza contando las interrupciones que ocasiona un disco ranurado a un haz de luz (Baturone, 2006)

El robot utiliza 6 encoder incrementales de la marca Tamagawa Seiki, numero de parte TS5214N578, el encoder tiene una resolución de 2,500 C/T, opera a un voltaje DC + 5V  $\pm$ 5% a una corriente máxima de 200mA.

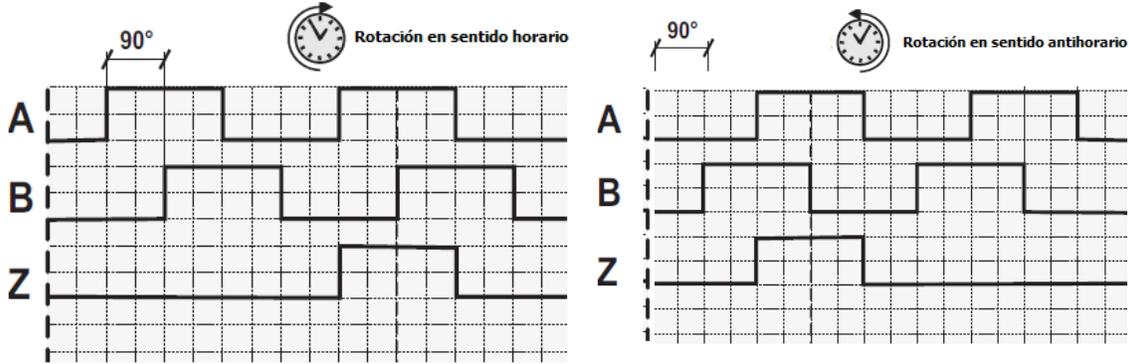
En la figura se observa el encoder incremental que usan los servomotores del robot industrial.



**Figura 2.4.** Encoder TS5214N578, marca Tamagawa Seiki. (Tamagawa Seiki Co., Rotary Encoders Catalogue)

La señal eléctrica detectada, para generar impulsos correctamente escuadrados y sin interferencias, debe ser procesada de manera electrónica. Para aumentar la calidad y la estabilidad de las señales, el sistema de lectura se efectúa de manera diferencial, comparando señales casi idénticas, pero desfasadas en 90° grados eléctricos. Su lectura se basa en la diferencia de estas dos señales, eliminando de esta manera las interferencias que ocurren en modo común, porque están superpuestas de igual manera en toda forma de onda.

El encoder incremental proporciona normalmente dos formas de onda cuadradas desfasadas en 90° eléctricos, los cuales se nombran “canal A” y “canal B”. Con la lectura de un solo canal se dispone de la información correspondiente a la velocidad del eje, mientras que si simultáneamente se capta la señal B es posible discriminar el sentido de rotación en pase a la secuencia de datos que producen ambas señales, como se observa en la figura 2.5. Está disponible además otra señal, llamada “Index” que proporciona la posición absoluta de cero del eje del encoder. Esta señal se presenta bajo la forma de impulso cuadrado con fase y amplitud centrada en el canal A (SILGE Electrónica, 2011).



**Figura 2.5.** Señales de encoder incremental con rotación en sentido horario (izq.) y anti horario (derecha).

## 2.7. Servodrive

Un servodrive es una herramienta de alta tecnología que integra en un solo dispositivo interfaces de potencia y control para servomotores.

Las principales características de un sistema que emplea servodrives son las siguientes:

- Corto tiempo de posicionamiento: El servo opera a su máximo rango de posicionamiento hasta que el servodrive calcula que ha llegado el tiempo ideal para comenzar a desacelerar, en este punto comienza a bajar la velocidad uniformemente hasta llegar al punto final, sin perturbaciones. El algoritmo de control siempre busca compensar dinámicamente los errores o variaciones ocurridos en la máquina. El tiempo de posicionamiento se minimiza.
- Mayor precisión: El servo continuamente guarda la posición final, de manera que, a pesar del paso del tiempo y las variaciones ambientales, el servodrive siempre lleva al servo a la misma posición final.
- Mejor confiabilidad: Una capacidad sobresaliente de los servodrives es su habilidad de controlar automáticamente la aceleración y desaceleración de forma que el hardware se mantenga en tolerancias el mayor tiempo.
- Mayor repetibilidad: Los movimientos repetitivos a un punto particular mejoran consistentemente con la cantidad de repeticiones realizadas. El resultado es más observable cuando se realizan operaciones con herramientas intercambiables.
- Movimientos coordinados: ya que el control de todos los servos son control en lazo cerrado, ellos están continuamente respondiendo a la orden en todas las velocidades de avance. Los movimientos coordinados requieren de la generación de comandos coordinados que son ejecutados por medio de interpoladores y controladores.
- Servo *clamping*: Debido a que el servodrive posiciona continuamente el servo, no hay necesidad de “*clamp*” mecánico para sostener el hardware en

una determinada posición, (el “*clamp*” funciona solo mientras el servodrive este encendido).

Para el sistema robótico se emplearan servodrive ESTUN de la serie EDB. A continuación se muestra una imagen con las principales características del panel frontal.



**Figura 2.6.** Servodrive de la marca Estun, serie EDB.

La serie EDB de Estun requiere una alimentación trifásica con un voltaje de 200 – 230 V. El servodrive utiliza un algoritmo de modulación SVPWM para traducir el voltaje de entrada de cada fase del servodrive en pulsos modulados y

así controlar la carga del motor en un rango de 0 a 100%. En este caso la modulación de dichos pulsos ocurre a una frecuencia de 21KHz. Para realizar el lazo de control, requiere de un encoder tipo incremental de una resolución de 2500 cuentas por revolución. Para controlar la velocidad del motor el servodrive cuenta con velocidades programables, comunicación RS-485 o mediante una señal analógica de  $\pm 10V$ .

Para controlar los motores M1, M2 y M3, cuyo modelo es MFM552H1V y tienen una potencia de 5.5 KW se utilizara el servodrive **EDB-50A**.

El control de los motores M4, M5 y M6, cuyo modelo es MDM212H1V y tienen una potencia de 2.1 KW se realizará con el servodrive **EDB-30A**.

## **2.8. Frenos electromecánicos**

Los frenos electromecánicos son dispositivos de frenado que están montados dentro del servomotor y permiten frenar el movimiento de estos o detener el eje del motor en una posición en específico.

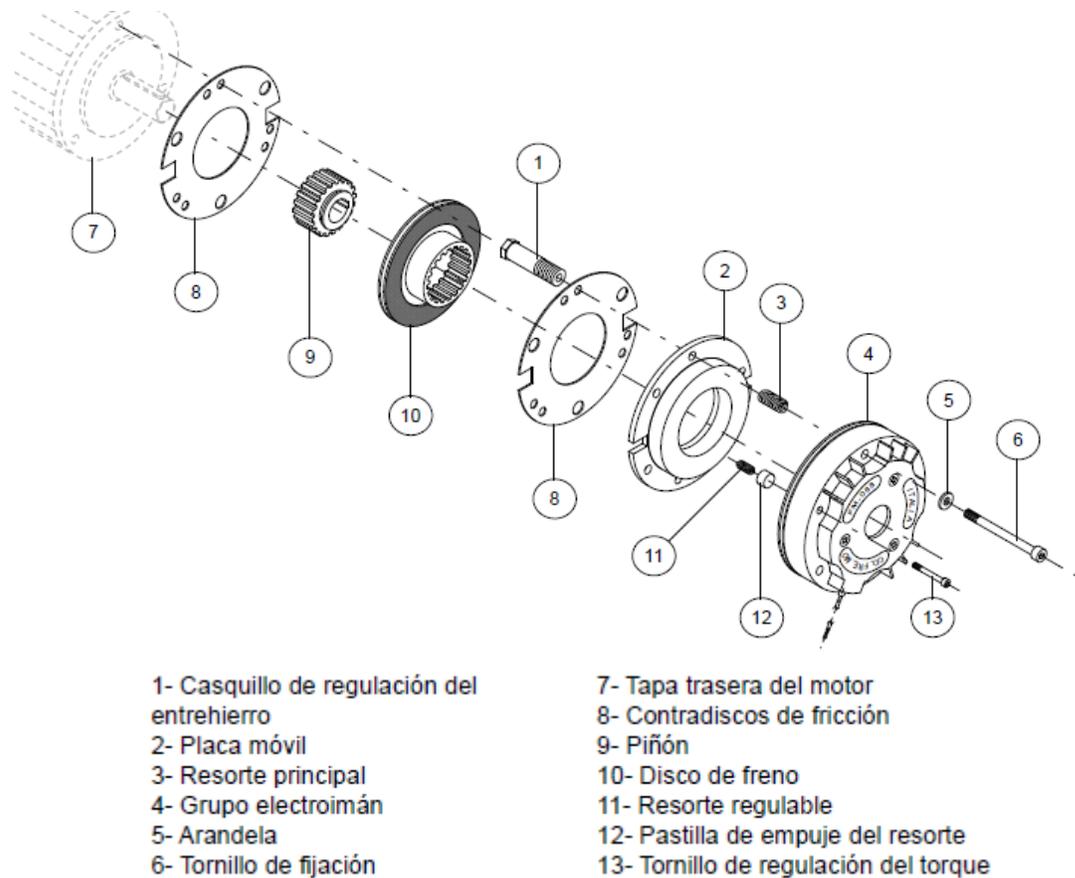
Se dice que un freno electromecánico esta desactivado cuando este está sujetando el eje del motor para que no realice ningún movimiento, por el contrario se dice que el freno electromecánico está activado cuando se energiza y éste libera el eje del motor para que pueda realizar movimientos rotacionales.

El freno electromecánico está compuesto por los siguientes elementos principales:

- Grupo electroimán; comprende el núcleo magnético, el soporte o porta bobina y el bobinado eléctrico.
- Placa móvil; está formada por un núcleo magnético laminar y un placa soporte.
- Disco de fricción.
- Piñón.

- Tornillos, casquillos y resortes; son necesarios para la fijación del freno al motor, para ejercer la fuerza de empuje y para la regulación del torque.

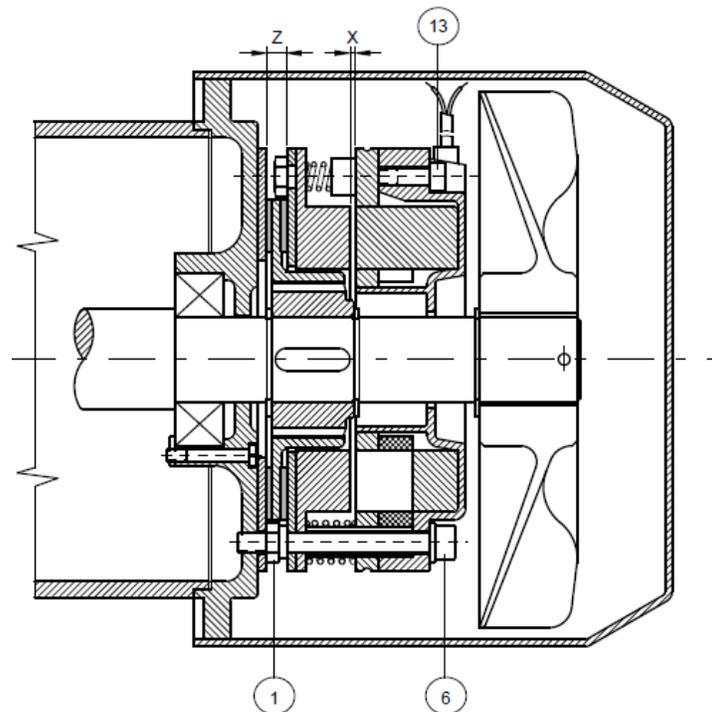
A continuación se muestra la figura de los componentes de un freno electromecánico seguido de una breve explicación de funcionamiento.



**Figura 2.7.** Elementos de un freno electromecánico. (Tekmatic, 2013)

El freno trabaja de la siguiente manera: al alimentar eléctricamente al electroimán (4) se genera un flujo electromagnético que atrae a la placa móvil (2) venciendo a los resortes (3 y 11). De esta manera el disco de fricción (10), que es solidario al eje de motor a través del piñón (9), queda liberado permitiendo la rotación del eje. Al cortar el suministro eléctrico, los resortes (3 y 11) empujan a la

placa móvil (2) contra la tapa trasera del motor (7), dando como resultado que entre los contradiscos de rozamiento (8) y el disco de fricción (10) se produzca el torque que va a detener al eje motriz (Tekmatic, 2013). A continuación se muestra un freno electromecánico ensamblado, usando la misma nomenclatura que la figura anterior.



**Figura 2.8.** Diagrama de un freno electromecánico ensamblado. (Tekmatic, 2013)

El freno electromecánico utilizado por los servomotores del robot *Nachi SA160F-01i* se activa mediante una señal continua de +24V DC, misma que es suministrada por una fuente de alimentación de 24V DC a 10A. Para tener control sobre el freno se ha montado un “switch brake” que interrumpe la señal de 24V del freno.

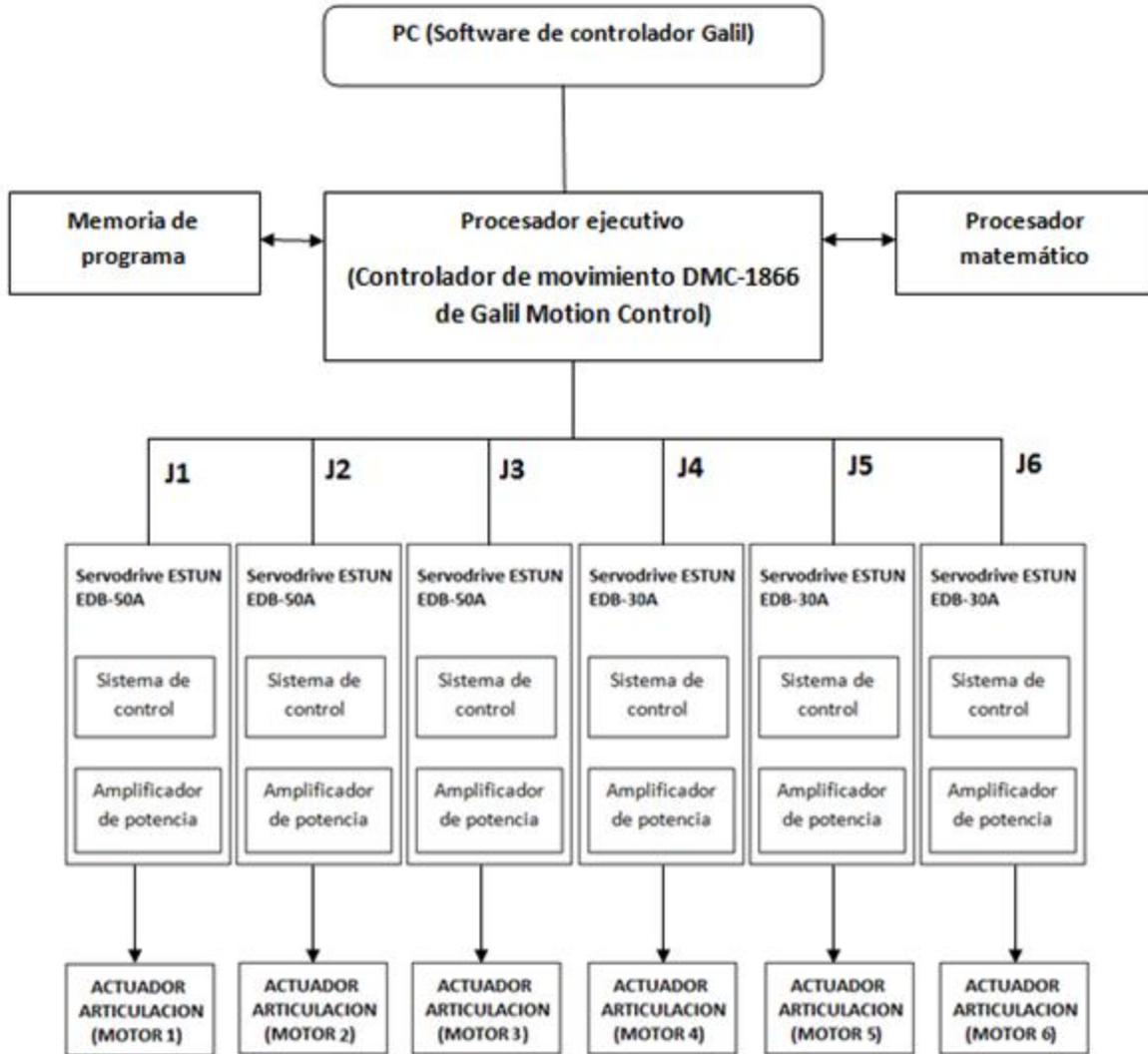
## **2.9. Controlador**

El controlador ejecuta las órdenes de movimiento a partir de dos posibles orígenes: entrada de operador o memoria del programa (Mikell P. Groover, 1990). En cualquiera de los dos orígenes es necesario de un sistema que pueda procesar los datos introducidos y genere acciones que puedan ser interpretadas por un servoamplificador; y este, a su vez pueda generar los perfiles de salida necesarios para accionar los actuadores (motores) que han de mover el brazo y la muñeca del robot.

Para realizar esta conexión entre la tarjeta de control de movimiento y los servodrives es necesario un módulo ICM 2900 (figura 2.9), que es la interfaz necesaria para comunicar las señales del servodrive con la tarjeta de control instalada en la PC.

A continuación se muestra una imagen con el modulo CM 2900.





**Figura 2.10.** Esquema del subsistema de control del *Nachi SA160F-01i*.

En el esquema anterior se pueden observar claramente como el controlador de movimiento, montado en una PC, concentra toda la información generada por el sistema, hace un análisis mediante un procesador matemático y referencias de memoria; y realiza la generación de los perfiles necesarios para cada eje. Mediante los distintos módulos e interfaces, direcciona la información al eje necesario

## 2.10. Conectores

### 2.10.1. Conectores principales

Para concentrar las señales de robot se emplean conectores circulares tipo J de 34 pines, dichos conectores se encuentran en la parte baja-frontal de la base del robot, y se encuentran distribuidos en 5 conectores como muestra la figura:



**Figura 2.11.** Conectores macho de salida para cable de control.

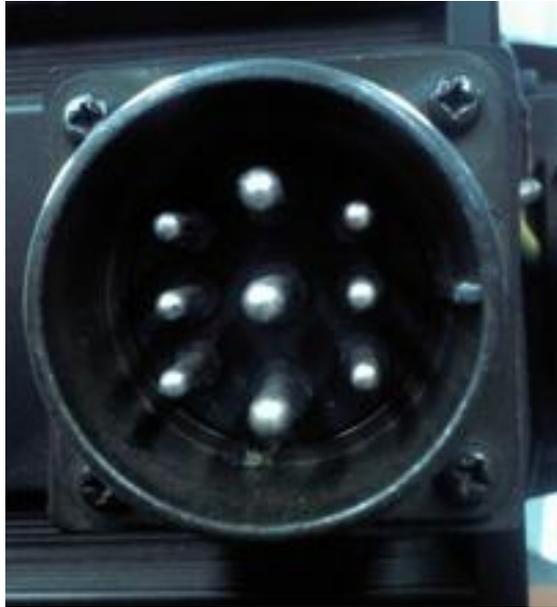
Para conectar las señales con el gabinete de control se emplean conectores circulares tipo J de 34 pines, tanto en la base del robot como en el gabinete de control.



**Figura 2.12.** Conector hembra del cable de control general CNRO1A, CNRO1, CNRO2, CNR04 Y CNR010.

### 2.10.2. Conectores de motores

Los servomotores cuentan con conectores circulares de 9 pines para conectar las salidas con los conectores principales ubicados en la base del robot.



**Figura 2.13.** Conector macho para servomotores.

Para realizar la conexión de los motores con los conectores de la base del robot, se emplean conectores circulares tipo J. Nótese que los conectores de los motores M1, M2 y M3 son diferentes a los conectores de los motores M4, M5 y M6.



**Figura 2.14.** Conector hembra de cable de control para servomotores M1, M2 y M3.

Al observar detenidamente los marcadores asignados a cada pin del conector, podemos observar que los conectores no tienen la misma configuración, por lo cual no son intercambiables.



**Figura 2.15.** Conector hembra de cable de control para servomotores M4, M5 y M6.

### **2.10.3. Conectores de encoder**

#### **Conexión de encoder**

Los encoder se conectan con los conectores principales por medio de conectores circulares tipo J, en dichos conectores, no se emplea la totalidad de pines del conector, en la figura siguiente se observa dicho conector y se marcan con un punto blanco los pines que no son empleados.



**Figura 2.16.** Pines utilizados en el conector de encoder.

### 3. Metodología

#### 3.1. Diseño e implementación una red de suministro de energía para el sistema robótico

Para alimentar al sistema robótico en su totalidad se cuenta con una toma de energía trifásica de 200 ~ 230 V a una frecuencia de 50 – 60 Hz.

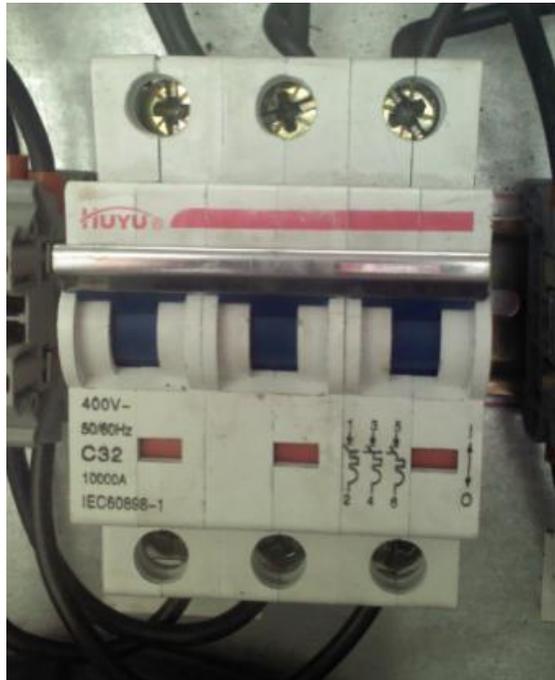
Cada servodrive cuenta con 3 terminales de entrada, una para cada fase, y externamente se realiza una conexión en la que se obtienen 200 ~ 230 V a una frecuencia de 50 – 60 Hz para alimentar el servodrive, cada servodrive tiene 3 terminales de salida hacia las fases del motor, por estas terminales obtendremos un tren de pulsos modulados para controlar la velocidad y posicionamiento de cada motor.

Se colocó un switch para alimentación trifásica (**Figura 3.1**) en la parte superior, con una capacidad de carga de hasta 80<sup>a</sup>, que interrumpe la alimentación a todo el gabinete de control.



**Figura 3.1.** Switch de alimentación principal.

A su vez, cada servodrive tiene un switch independiente (**Figura 3.2**) que controla el suministro de energía al servodrive y a los servomotores.

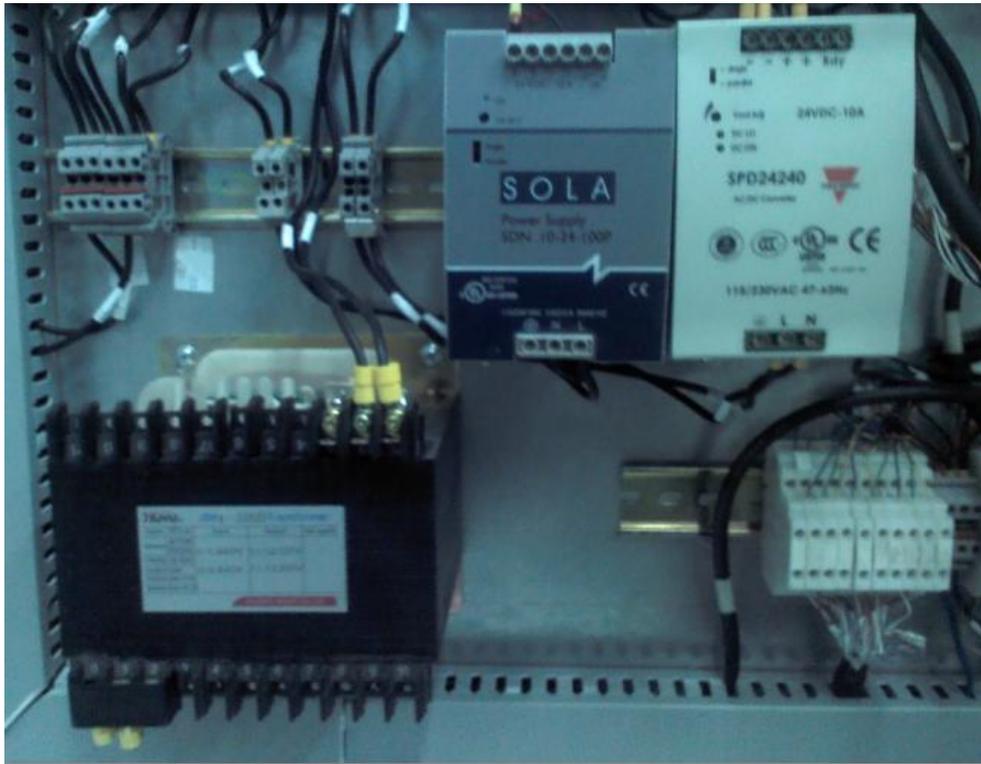


**Figura 3.2.** Switch de alimentación de servodrive.

Para conectar 2 convertidores de corriente alterna a corriente directa de 24V, se emplea un transformador trifásico de 1KVA conectado para bajar la tensión de 200 ~ 230 V a 100 ~ 120 V con una frecuencia de 50 – 60 Hz. Para observar la conexión refiérase a la **figura 5.1** de los diagramas conexión eléctrica contenida en el capítulo cinco.

Para alimentar los frenos electromecánicos del robot, se utiliza una fuente de 24V. Para controlar el estado de los frenos se utilizan un switch general y un relevador externo por cada servodrive y un optoacoplador interno de alarma del servodrive Estun. Más adelante se explica a detalle esta conexión.

En la figura podemos observar el transformador y las dos fuentes implementadas a la arquitectura.



**Figura 3.3.** Transformador y fuentes de DC de 24V.

### **3.2. Caracterización de señales**

Dado que el robot industrial fue donado sin manuales de usuario o diagramas de conexiones, es necesario seguir la continuidad de las señales a emplear para así hacer las conexiones necesarias con el sistema de control y de suministro de potencia.

### **3.2.1. Caracterización de las señales de motor**

La alimentación de los motores y el control de los frenos electromecánicos se encuentran interconectados entre el conector del motor con los conectores de salida circulares tipo J de 34 pines, ubicado en la parte baja-frontal del robot.

Para observar gráficamente la conexión del motor refiérase a la hoja 4 del apéndice, contenido en el capítulo 5 de esta Tesis.

Cada motor tiene una configuración de pines diferente en los conectores ubicados en la base del robot. Para observar la relación y caracterización de todos los motores sírvase consultar el apéndice de esta Tesis, en las hojas 1, 2, 3 y 4. Cada una de las configuraciones pueden observarse de manera grafica en las hojas 8, 9, 10, 11 y 12 del apéndice, contenido en el capítulo 5 de esta Tesis.

### **3.1.1. Caracterización de las señales de encoder**

Todas las señales de los encoder se encuentran concentradas en el conector CNR04 de la base del robot. Al igual que las tablas de configuración anteriores se encuentran representadas en el apéndice de esta Tesis en las hojas 4, 5, 6 y 7; e igualmente, se observa gráficamente la conexión de servodrives en las hojas 13, 14, 15, 16 y 17 del capítulo 5 de esta Tesis. De nuevo, una celda en blanco determina que no hay conexión entre los conectores.

### **3.3. Implementación de *servo drives* para controlar cada servomotor**

Cada motor requiere una alimentación trifásica, de una tensión de 200 ~ 200 V, a una frecuencia de 50 ~ 60 Hz. Este suministro de energía se modula mediante el servodrive, para si poder controlar la velocidad del motor.

Para controlar un servomotor por medio del servodrive se requiere que las fases del servomotor se encuentren conectadas con la salida de potencia del

servodrive, a la vez que se conecta la señal de retroalimentación del encoder, para lograr el control en lazo cerrado.

Para esto se requiere de una conexión lógica de elementos, para que en su conjunto, permita la interacción sincronizada del controlador de movimiento, 6 servodrives y 6 actuadores que animan al robot industrial.

Para realizar la conexión se diseñaron esquemáticos mediante software de diseño eléctrico y electrónico. Esta conexión fue interpretada e implementada al sistema robótico. Los esquemáticos realizados se encuentran en las primeras diez hojas del apéndice de esta Tesis.

La razón para hacer un esquemático independiente para cada motor, es tratar a cada eje como un subsistema y así operar el robot de manera más eficiente y rastrear más fácilmente los fallos que pudiera haber en los diferentes ejes del robot.

Para obtener más información acerca de la conexión de señales para el servodrive Estun, o de otras opciones de configuración del servodrive serie EDB de Estun, sírvase leer el manual de usuario.

### **3.4. Control automático de frenos mecánicos**

Los servodrive de la serie EDB de Estun cuenta con un sistema de alarmas, las cuales se activan en cuanto el servodrive detecta condiciones anormales de operación, deteniendo el suministro de potencia hacia el servodrive para no ocasionar averías al sistema eléctrico y/o electrónico. Adicionalmente a este sistema el servodrive tiene un optoacoplador interno que se dispara al encontrarse con una señal de alarma. Este sistema está pensado para activar y desactivar los frenos electromagnéticos del servomotor y detener su movimiento, en este caso, mantener la estructura del robot en la misma posición que cuando se ocasiona la alarma y así evitar que este se siga moviendo y se dañe o cause un accidente

Para contar con un control preciso de los frenos, se conectan de forma que puedan ser controlados de manera independiente mediante relevadores con pastilla, y a la vez, mediante las alarmas del servodrive, cuando estén operando.

Esta conexión se observa en los esquemáticos de conexión de servodrives en las **figuras 5.8, 5.9, 5.10, 5.11, 5.12, y 5.13** contenidas en el capítulo cinco de esta tesis.

### **3.5. Control de los actuadores del robot**

El control de movimiento del robot se hace mediante la interfaz grafica "Galil Tools" proporcionada por Galil Motion como software para manipular el controlador de movimiento DMC 1866. Este software recibe comandos en lenguaje de alto nivel, hace los cálculos correspondientes e inicia la acción de ejecución, enviando una señal de  $\pm 10V$  a las terminales 9 y 10 del servodrive Estun, este a su vez interpreta esta señal y genera una salida modulada, proporcional a la variación de esta señal.

Esta conexión se realiza mediante el modulo ICM 2900, que es el conector para la tarjeta de movimiento, en este conector se reciben también las señales de entrada de pulsos generadas por los encoder de los servomotores. La conexión del modulo se puede observar a lo largo de todos los esquemáticos de conexión de servodrives ubicados en el capítulo 5.

### **3.6. Control del brazo robótico mediante lenguaje DMC**

DMC (Digital Motion Controller) es el lenguaje de programación utilizado por el hardware Galil, que ha sido desarrollando y perfeccionando desde 1983. Es un lenguaje de alto nivel, es fácil de aprender y usar.

El código de DMC es funcional y muy adecuado para el control de movimiento y las aplicaciones del PLC. Se puede utilizar mediante programación

desde un dispositivo externo, en este caso una PC con la tarjeta de control y el software instalado.

La programación en código DMC proporciona variables simbólicas, matrices y de apoyo de matemáticas.

Cuando se ejecuta en el controlador, el lenguaje DMC apoya condicionales del tipo “if-then–else”, código de ramificación, subrutinas, subrutinas multi-hilo y automática (es decir, la programación orientada a eventos).

El código DMC se ejecuta en el sistema operativo en tiempo real Galil (RTOS), que está diseñado específicamente para el hardware de Galil y para el control de movimiento.

### **3.6.1 Clasificación y descripción general del lenguaje DMC**

#### **Notación explícita:**

El comando recibe su argumento por asignación únicamente después del operador “=”. Para comandos que utilicen una designación de datos sobre ejes.

El símbolo “ \* ” (asterisco) se usa en lugar del designador de ejes y significa que el dato actuara para todos los ejes por igual. Por ejemplo:

Sintaxis	Descripción
PRB=1000	Fija el eje B a una posición relativa a 1000 cuentas de la actual
PR*=1000	Fija todos los ejes a una posición relativa a 1000 cuentas de la actual

## Notación implícita

Estos comandos requieren argumentos numéricos a ser especificados directamente después de la instrucción. Los valores pueden ser dados para cada eje por separado o para una combinación de ejes. Las comas (,) indican la localización de los argumentos. Para comandos que afectan ejes, el orden de los argumentos es: Primero el eje A; seguido por coma, segundo el eje B; seguido por coma, y así sucesivamente omitiendo el argumento que resultara de colocar dos comas seguidas, en cuyo caso no se modifica el valor de dicho eje.

A continuación podemos ver algunos ejemplos de esta notación, usando el comando para ajustar la aceleración de los ejes, en este caso 'n' puede ser reemplazado por cualquier valor numérico y es traducido a cuentas/sec<sup>2</sup>:

Sintaxis	Descripción
AC n	Ajusta la aceleración del eje A únicamente
AC n,n	Ajusta la aceleración del eje A y B únicamente
AC n,,n	Ajusta la aceleración del eje A y C únicamente
AC n,n,n,n	Ajusta la aceleración del eje A, B, C y D únicamente
AC ,n,,,n	Ajusta la aceleración del eje B y E únicamente
AC ,,,n,n	Ajusta la aceleración del eje E y F únicamente

## Comandos que aceptan denominadores de eje:

Estos comandos requieren que el usuario especifique que ejes se van a afectar. El comando va seguido del denominador de eje en mayúscula X, Y, Z y W o sus sinónimos A, B, C y D. Ahora veremos algunos ejemplos con el comando

SH, el cual indica que el controlador use la posición actual del motor como referencia de los comandos de posición y habilita el servocontrol sobre el eje:

Sintaxis	Descripción
SH A	Afecta al eje A
SH ADEG	Afecta a los ejes A, D, E y G
SH ABCD	Afecta a los ejes A, B, C y D
SH XYZW	Es idéntico a SH ABCD
SH H	Afecta al eje H
SH	Afecta a todos los ejes

### **Notación de 2 letras:**

Estos comandos no tienen opciones ni argumentos. A continuación algunos ejemplos:

Sintaxis	Descripción
RS	Reinicia el procesador a los valores iniciales
LV	Regresa un listado de todas las variables del programa guardadas en memoria

### **3.6.2 Relación de cuentas con desplazamiento angular**

El lenguaje DMC realiza todos los movimientos en base a las cuentas que censa por medio del encoder, por ello es de vital importancia conocer como se relacionan las cuentas del encoder con el desplazamiento angular de los motores.

En la tabla 3.13 se muestra la relación existente entre las cuentas de encoder y el desplazamiento angular de los motores, dicha información fue obtenida mediante experimentación directa, es decir, asignando un desplazamiento en cuentas para cada eje independiente, ejecutando y midiendo el desplazamiento angular del eje.

Eje	Cuentas por grado
J1	5042.9
J2	4838.7
J3	5405.4
J4	4666.6
J5	2545.5
J6	2907.1

**Tabla 3.1.** Relación de las cuentas en código DMC y desplazamiento angular del motor en grados.

### 3.7. Control del robot

El control completo del robot es relativamente sencillo gracias a la interacción entre los servodrives y el controlador de movimiento Galil, y a la sencillez con que el lenguaje de programación DMC realiza las interpolaciones de motores y ajustes de valores.

A continuación describiremos de forma general los comandos en lenguaje DMC mas utilizados para la interpolación de motores y el control del robot.

### 3.7.1. Comandos en lenguaje DMC para control del robot

#### **BG (Begin)**

Sintaxis: Comando que acepta denominadores de eje

Cuando se ordena un movimiento o secuencia de movimientos, estos comienzan hasta que se ejecute este comando. Ejemplos:

Sintaxis	Descripción
BGA	Inicia el movimiento únicamente en el eje A
BGY	Inicia el movimiento únicamente en el eje B
BG ABD	Inicia el movimiento en los ejes A, B y D
BGS	Inicia la secuencia de movimientos descrita después de la última ejecución de movimientos mediante otro comando BG

#### **ST (Stop)**

Sintaxis: Comando que acepta denominadores de eje

El comando ST detiene el movimiento del eje especificado mediante una rápida desaceleración. Ejemplos:

Sintaxis	Descripción
ST A	Detiene el movimiento del eje A
ST ACD	Detiene el movimiento de los ejes A, C y D
ST	Detiene el movimiento de todos los ejes

## **RS (Reset)**

Sintaxis: Notación de 2 letras

Este comando reinicia el procesador a los valores iniciales, todas las cuentas de encoder regresan a 0. Ejemplo:

Sintaxis	Descripción
RS	Reinicia los valores de todo el procesador, de todos los ejes

## **PA (Position Absolute)**

Sintaxis: Explícita e implícita

Este comando ajusta los parámetros para el modo de posición absoluta de movimiento, esta posición está referenciada con el cero absoluto registrado, este cero absoluto, está dado cuando las cuentas de encoder se encuentran en 0, el cero absoluto puede ajustarse usando el comando RS (Reset) o apagando y volviendo a encender todo el sistema. Este comando acepta enteros en el rango entre -2147483647 – 2147483648, y las unidades están en cuentas de encoder. Para que este comando se ejecute requiere de BG. Ejemplo:

Sintaxis	Descripción
PA n1	Lleva al eje A hacia n1 cuentas del cero absoluto
PA n1,n2,,n3	Lleva al eje A hacia n1 cuentas del cero absoluto, al eje B hacia n2 cuentas del cero absoluto y al eje D hacia n3 cuentas del cero absoluto
PAA=n1	Lleva al eje A hacia n1 cuentas del cero absoluto
PABDF=n1	Lleva a los ejes B, D y F a n1 cuentas del cero absoluto

## **PR (Position Relative)**

Sintaxis: Explícita e Implícita.

El comando PR ajusta la posición con un movimiento incremental o decremental, referenciado con respecto de la posición actual del eje. Este comando acepta enteros en el rango entre -2147483647 – 2147483648, y las unidades están en cuentas de encoder. Para que el comando se ejecute requiere del comando BG. Ejemplo:

Sintaxis	Descripción
PR 100, 200,, 3000	Una vez que lea el comando BG el eje A se moverá 100 cuentas hacia adelante, el eje B se moverá 200 cuentas hacia adelante y el eje D se moverá 300 cuentas hacia adelante

## **AM (After move)**

Sintaxis: Comando que acepta denominadores de eje

Este comando es usado para controlar la temporización de eventos. Durante la ejecución de una secuencia de movimientos indica que hasta que termine el movimiento de un determinado eje, continuara con la siguiente línea de código, ya que por obvias razones no se pueden hacer dos posicionamientos de un eje a la vez. Generalmente se usa después del comando BG, que da inicio a un movimiento, para que solo hasta que termine el movimiento, continúe con el que sigue. Ejemplo:

Sintaxis	Descripción
AM A	Espera hasta que termine el posicionamiento del eje A
AM ABD	Espera hasta que termine el posicionamiento de los ejes A, B y D

AM

Espera a que termine el posicionamiento de todos los ejes

### 3.7.2. Notación Denavit-Hartenberg

Con el fin de describir de forma única la arquitectura de una cadena cinemática, eso es, la localización y orientación relativa de sus ejes de pares vecinos, se introduce la notación de Denavit-Hartenberg. Para el robot que estamos estudiando, se han obtenido los siguientes parámetros mediante observación y análisis de la estructura del robot.

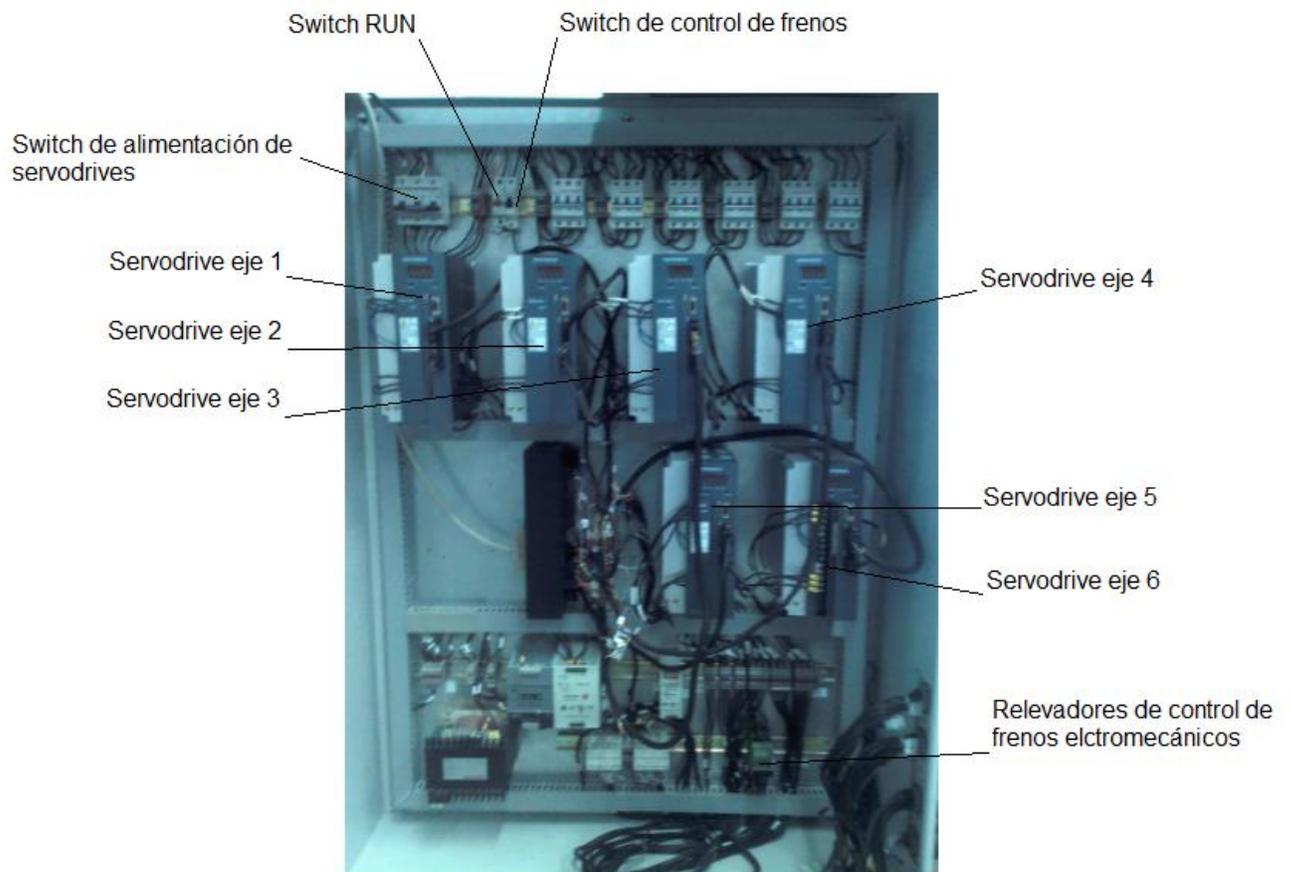
Articulación $i$	$a_i$	$b_i$	$\alpha_i$
1	26.5	78	+90°
2	110	0	0°
3	0	35	0°
4	0	90	-90°
5	0	0	90°

**Tabla 3.2.** Parámetros de Denavit.Hartenberg para el robot industrial Nachi SA160F-01i.

## 4. Resultados y conclusiones

### 4.1 Resultados

Al término de este trabajo se cuenta con un gabinete de control para el robot industrial Nachi SA160F-01i, capaz de controlar los 6 servomotores de un robot industrial Nachi SA160F-01i mediante un controlador de movimiento y servodrive. En la figura siguiente se muestra el gabinete de control con la ubicación de los principales componentes para su funcionamiento.



**Figura 4.1.** Gabinete de control para el robot industrial Nachi SA160F-01i.

El gabinete de control se conecta con el robot industrial mediante 4 cables con conectores circulares tipo J de 34 pines. En la figura se puede ver la conexión al gabinete de los 4 cables que comunican el gabinete de control con el robot industrial.



**Figura 4.2.** Conectores tipo J de 45 pines del gabinete de control.

Para hacer cambios a la arquitectura, detectar errores, cambiar o implementar nuevo hardware, en el capítulo 5 de esta Tesis, se encuentran plasmados todos los diagramas eléctricos y electrónicos necesarios, así como la caracterización de señales en todos los conectores.

Una vez realizadas las conexiones eléctricas, electrónicas y la sincronización de subsistemas nos fue posible realizar movimientos coordinados de todos los ejes, mediante comandos DMC de Galil.

#### **4.1.1. Consideraciones de seguridad**

Antes de quitar los frenos de los servomotores, **despejar el área de trabajo** del robot cualquier objeto que obstaculice la trayectoria del robot, para evitar colisiones o daños, tanto al mobiliario como al robot.

Dado que las pruebas se realizan en el laboratorio de mecatrónica, **notificar a todas las personas del laboratorio que se va a poner en marcha el robot** y es peligroso que se acerquen.

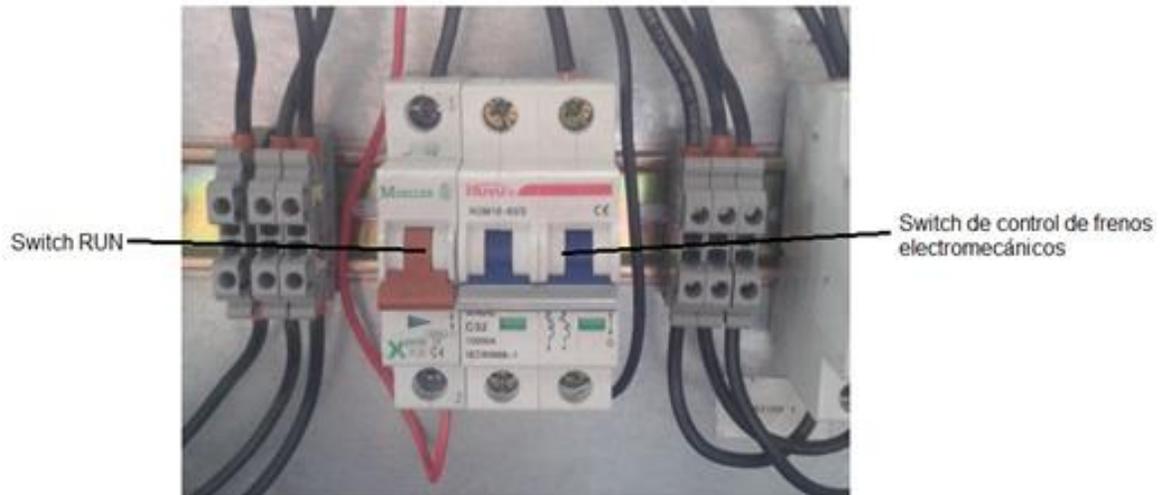
**Revisar que los servodrives a utilizar estén en modo RUN o encendidos en modo JOG antes de quitar los frenos**

#### **4.1.2. Operación del robot**

Para operar el robot y realizar secuencias con el controlador de movimiento se detalla a continuación el procedimiento básico para encender los servodrives y poner en marcha el robot:

**1.- Revisar que todos los switch del gabinete estén apagados** (abajo) y que todos los conectores, tanto de los servomotores y encoders, como de la base del robot y el gabinete, estén debidamente conectados.

Revisar especialmente que el switch de control de frenos electromecánicos este en posición apagada (abajo) para evitar que el eje 2 caiga por efecto de la gravedad o el eje 3 caiga por efecto del pistón de amortiguamiento en cuanto se enciendan los servodrives.



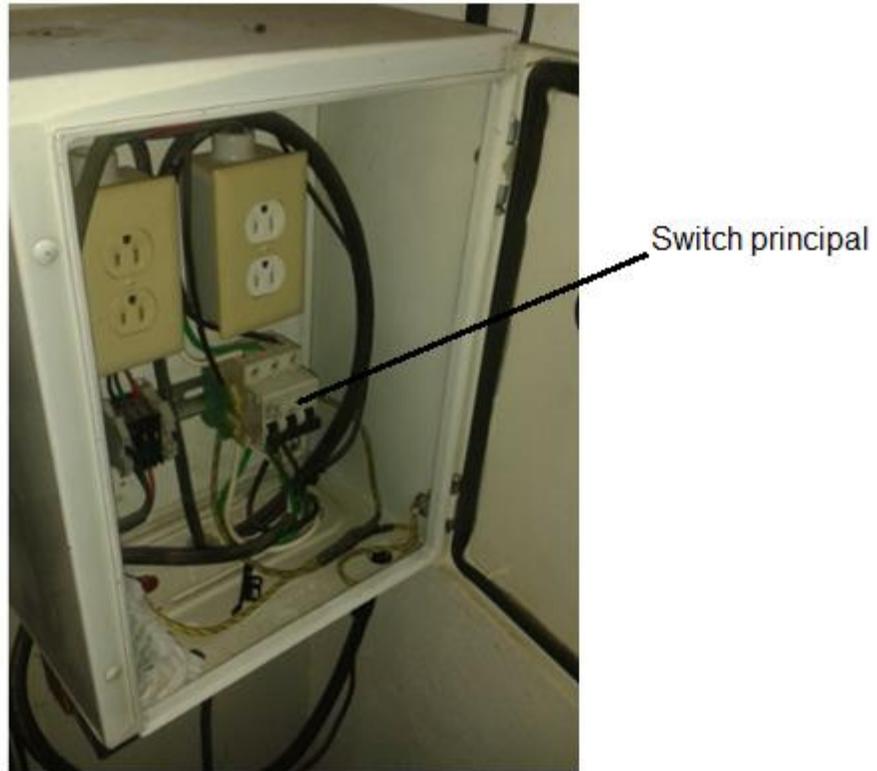
**Figura 4.3.** Switch RUN y de control de frenos electromecánicos.

, Se recomienda también, quitar todas las pastillas del los relevadores que controlan la acción de los frenos electromecánicos. Estas pastillas son la parte funcional del relevador, el resto solo es una carcasa de montaje al riel y los bornes de conexiones.



**Figura 4.4.** Relevador de control de frenos electromecánicos.

**2.- Ubicar la conexión trifásica y la bajada de tensión.** Verificar que antes de hacer alguna conexión, el switch principal este en posición de apagado (abajo).



**Figura 4.5.** Conexión trifásica (Laboratorio de Mecatrónica).

Ubicar la clavija trifásica de seguridad, que sale del gabinete de control por la parte superior, y ubicar cual de los 3 bornes de la clavija tiene una sección diferente; esta clavija solo se puede conectar de una forma, debido al orden en que están conectadas las 3 fases y el neutro.



**Figura 4.6.** Clavija trifásica de seguridad.

Conectar la clavija trifásica de seguridad, introduciendo en el enchufe **(Figura 4.7)** por completo y girando en sentido de las manecillas del reloj para asegurar la conexión, una vez conectado el enchufe, subir el switch principal. En este punto deben de energizarse el transformador, y las fuentes de 12 y 24 V.



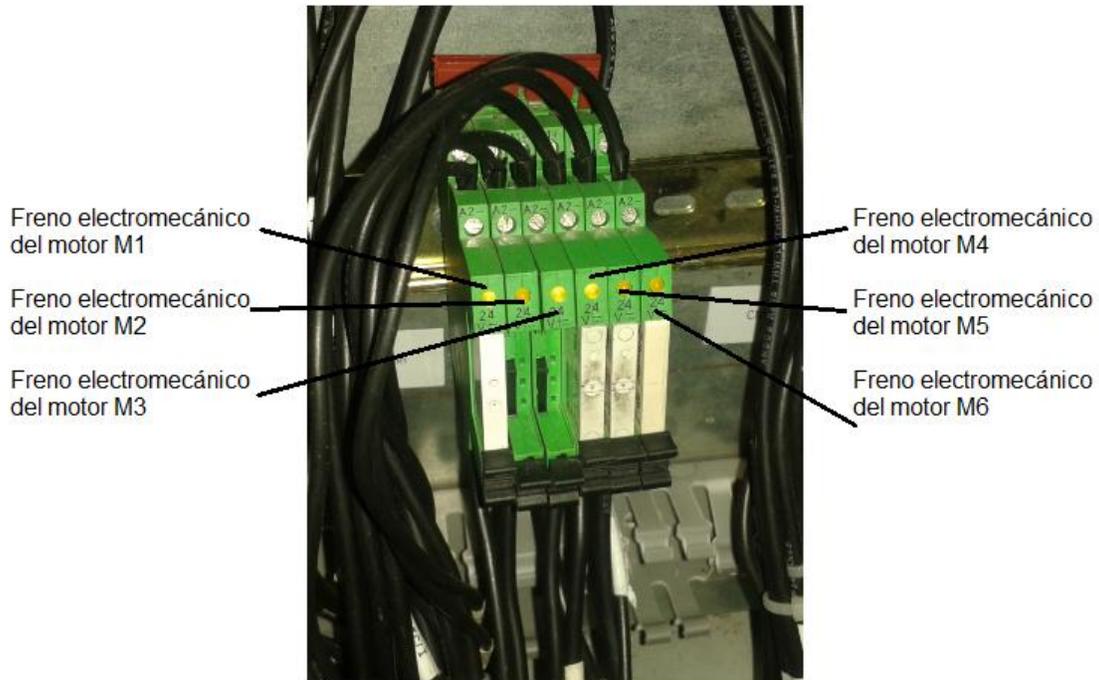
**Figura 4.7.** Enchufe y clavija de seguridad conectada.

3.- Revisar que los 2 cables DMC estén conectados desde el modulo ICM a la tarjeta de control de movimiento, cuyos conectores se encuentran el parte trasera del CPU. Una vez conectados los cables, encender la PC y posteriormente iniciar el programa **DMC Smart Terminal**.

DMC Smart Terminal, es el software para programación en código DMC de Galil, en la parte superior izquierda se encuentra el panel de comandos, aquí el primero comando que se ejecuta es **RS**, para que los motores no tengan referencia de velocidad y cuando se desactive el freno, no realicen ningún movimiento inesperado.

4.- Encender el switch que alimenta a todos los servodrives, una vez alimentado el riel principal, encender uno a uno todos los servodrives. Si el switch que habilita el control de movimiento por medio de la tarjeta GALIL (Que llamaremos "**switch RUN**") está apagado, los servodrives mostraran la leyenda "NOT POT", en caso de que el "switch RUN" este encendido, aparecerá la leyenda "RUN". Las alarmas de Estun se muestran en el display, si alguna de estas ocurre, refiérase al manual de usuario del servodrive.

En este punto se puede preparar la desactivación de los frenos, colocando todas las pastillas o las pastillas de los ejes que se van a usar en sus respectivos relevadores (**fig. 4.8**) **no se deben desactivar los frenos a menos que los servodrives se encuentren en modo RUN o se vaya a joggear el eje y el servo este encendido.**



**Figura 4.8.** Relevadores de control de frenos electromecánicos montados.

5.- Una vez que se han tomado las precauciones de seguridad se procede a desactivar los frenos electromecánicos, subiendo el switch de frenos. Con esto los ejes quedan liberados y ya están sostenidos completamente por el servomotor y el servodrives.

6.- Usar **DMC Smart Terminal** para introducir los comandos y realizar los movimientos que se requieran

7.- **Al terminar de usar el sistema, primero se deben activar los frenos electromecánicos**, bajando el switch de control de frenos electromecánicos, posteriormente se pueden apagar los drives uno a uno o con el switch general.

### 4.1.3. Problemas y troubleshooting

Durante las pruebas realizadas a los motores y al servodrive, fue notorio el desgaste normal de los componentes mecánicos del robot industrial, una de las partes críticas es el eje J3 accionado por el motor M3. Este eje, debido a la anatomía del robot es el que carga la mayor cantidad de peso y soporta grandes fuerzas debido a la longitud del brazo, por lo que el desgaste de sus partes mecánicas, es mayor.

Debido a este desgaste la transmisión del robot no transmite correctamente el torque producido en los servomotores y se observa un golpeteo, mismo que ocasiona una situación anormal en el motor, y de ser muy violento el golpe, llegaría a provocar una condición anormal en el funcionamiento del motor y disparar una alarma en el servodrive. Esta situación se puede corregir, dando mantenimiento a las transmisiones del robot y reparando la transmisión del eje dañado.

A continuación se presenta una tabla en la que se enumeran los problemas más frecuentes encontrados durante la experimentación, así como sus posibles soluciones:

Problema	Posible solución
No se libera el freno electromecánico	<ul style="list-style-type: none"><li>• Si el servodrive se va a fallo, inmediatamente activa los frenos, para restaurar el control de los frenos se debe quitar la alarma de servodrive, presionando el botón <i>Enter</i>.</li><li>• Revisar los conectores de motor, base de robot y gabinete.</li><li>• Revisar que los pines de los relevadores estén haciendo contacto.</li><li>• Revisar que la fuente de 24V esté operando</li></ul>

	normalmente.
No hay señales de encoder	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Revisar los conectores de encoder, base de robot y gabinete.</li> <li>• Revisar el conector 2CN del servodrive.</li> <li>• Hacer que el cable del conector CNR04, quede perpendicular a la base, para evitar jalones y falsos contactos.</li> </ul>
Al liberar los frenos electromecánicos, se mueven los ejes sin ejecutar comandos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Es posible que el procesador y la memoria de Galil no haya concluido el movimiento del últimos comando o comandos, al iniciar de nuevo los drivers y liberar los frenos, el motor intentara completar esta tarea. Para reiniciar el procesador, ejecute el comando RS antes de liberar los frenos electromecánicos.</li> </ul>
Al ejecutar un comando de movimiento no hay respuesta	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ajustar los valores de aceleración y velocidad del eje. En ocasiones el valor predeterminado de Galil para la aceleración y velocidad de los servomotores es muy bajo, por lo que el movimiento es tan lento que es difícil de percibir.</li> </ul>
El servodrive se va a fallo por sobrecorriente	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Checar si se han liberado los frenos electromecánicos correctamente.</li> <li>• Revisar que el eje a mover no esté limitado por la estructura del robot y esta colisionando contra sí mismo.</li> <li>• Apagar el sistema, quitar la tapa trasera del motor, donde se encuentra el encoder y revisar el acoplamiento mecánico entre la flecha del motor y</li> </ul>

	el encoder.
Después de ejecutar un comando el eje tiene un comportamiento errático	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Quitar la tapa que cubre los encoder y apretar el opresor que une la flecha del motor con el encoder</li> <li>• Alejar los cables del conector 2CN de posibles fuentes de ruido electromagnético</li> <li>• Es necesario reajustar el controlador del servodrive. mediante el software de Estun.</li> </ul>

**Tabla 4.1.** Tabla de troubleshooting del sistema robótico.

## 4.2 Conclusiones

En este trabajo se probó la metodología de implementación de esquemáticos para la instrumentación y control de un robot industrial, integrando servodrives y tarjetas de control de movimiento. El sistema efectivamente cuenta con las siguientes características:

- **Arquitectura abierta:** Se podrá adaptar fácilmente a otros sistemas, debido a la gran versatilidad que tienen los servodrives mediante sus diversas opciones de comunicación y capacidad de ejecución. Igualmente el controlador de movimiento cuenta con muchas más opciones que permite, por ejemplo, el control de 4 servomotores más, y la entrada y salida de pines lógicos para accionamiento de actuadores o entrada de sensores.
- **Arquitectura flexible:** Las características del servodrive y el controlador de movimiento Galil permiten controlar otras aplicaciones o subsistemas por medio de señales digitales y analógicas, a su vez la configuración eléctrica del gabinete pueden suministrar energía para el funcionamiento de

sistemas, trifásicos y de DC. El software de Galil y el sistema de comandos DMC permite una efectiva manipulación de variables, salidas y entradas digitales, salidas analógicas, procesamientos de datos y timing.

- Brazo manipulador robótico: El brazo efectivamente puede posicionarse en cualquier punto dentro de su “*work envelope*” y dar orientación al órgano terminal. Debido a las condiciones mecánicas, falta de mantenimiento y deterioro del eje 3, no se pudo acceder a la velocidad y aceleración total del sistema. Usando sus capacidades puede imitar cualquier trabajo manual realizado por el hombre, como: ensamble de piezas, paletizado, manipular piezas en procesos de manufactura, etc.
- Software compatible: Es compatible con otros programas, se puede fácilmente modificar y adaptar para formar sistemas más complejos de procesamiento, que podrían incluir por ejemplo: redes industriales, instrumentación o visión por computadora

### **4.3 Posibles aplicaciones**

#### **4.3.1. Académicas e investigación**

Usar el sistema funcional como material didáctico, para observar ejemplos y realizar experimentación e investigación de servomecanismos, cinemática, electrónica, control, etc.

Construcción de una célula de producción dentro del laboratorio, para así poder integrar los conocimientos de varias disciplinas: redes industriales, programadores lógicos programables, instrumentación, procesos, calidad

Integrar el sistema robótico a otros proyectos de la universidad donde se requiera posicionamiento y coordinación de movimientos.

### **4.3.2. Industriales**

Rehabilitando el robot por completo, para lo cual se requeriría únicamente realizar el mantenimiento completo a las piezas mecánicas, integrarlo a una industria de tamaño medio para realizar un proceso de pintado, soldado, pick and place, etc. y así fortalecer el lazo entre la Universidad y la industria

### **4.3.3 Sociedad**

Programar el robot para que ejecute una rutina preestablecida de trayectorias con fines demostrativos y así poderlo presentar en ferias y/o congresos, como ejemplo del trabajo de la facultad y lo que es la Mecatrónica y la Automatización.

## **Bibliografía**

Angeles, J. (2002). Fundamentals of Robotic Mechanical Systems: Theory, Methods, and Algorithms (Second Edition ed.). (F. F. Ling, Ed.) United States of America: Springer.

Bajd, T. (2010). Robotics - Intelligent systems, Control and Automation: Science and Engineering (ilustrada ed., Vol. 43). Springer.

Baturone, A. O. (2006). Robótica: manipulaods y robots móviles. Marcombo.

Bruno Siciliano, L. S. (2009). Robotics: Modelling, Planning and Control (ilustrada ed.). Springer.

Henderson, H. (2006). Modern Robotics, building versatile machines. Chelsea Publishers.

International Federation of Robotics, Statistical Department. (2012).

Michael J. Melfi, S. E. (2009). Induction Versus Permanent Magnet Motors. IEEE Industrial Application Magazine.

Mikell P. Groover, M. W. (1990). Robotica Industrial. McGraw Hill.

Nachi-Fujikoshi. Standard Specifications for Presto Series. Nachi-Fujikoshi.

Santos, S. O. (2012). Control de movimiento para un robot (ROMAT 56). Querétaro, Qro.

SILGE Electrónica. (2011). Encoder Incremental, Descripción General. Buenos Aires: Eltra.

Tekmatic. (2013). Motores Electricos con Freno de Seguridad. Buenos Aires, Argentina.

Usategui, J. M. (2000). Róbotica Práctica, Tecnología y Aplicaciones. Madrid. España: Paraninfo.

5. Apéndice

5.1 Relación de pines para conexiones de motores

A continuación se muestran las tablas de la relación de conectores que alimentan los motores y controlan el freno electromecánico. Una celda en blanco indica que no hay conexión alguna que relacione un conector con otro.

MOTOR 1			
PIN MOTOR	PIN SALIDA	DESCRIPCIÓN	CONECTOR
A	t	-BRAKE	CNR02
B	s	+BRAKE	
C	v		
D	s, C, T	FASE A	CNR01A
E	F, w, c	FASE B	
F	N, g, t	FASE C	
G	$\perp$		
H			
I	x		CNR01A

**Tabla 5.1.** Relación y caracterización de pines del motor 1.

MOTOR 2			
PIN MOTOR	PIN SALIDA	DESCRIPCIÓN	CONECTOR
A	t	-BRAKE	CNR02
B	w	+BRAKE	

C	v		
D	H, P, j	FASE A	CNR01A
E	D, U, d	FASE B	
F	G, O, h	FASE C	
G	$\perp$		
H			
I	x		CNR01A

**Tabla 5.2.** Relación y caracterización de pines del motor 2.

MOTOR 3			
PIN MOTOR	PIN SALIDA	DESCRIPCIÓN	CONECTOR
A	x	-BRAKE	CNR01
B	t	+BRAKE	CNR02
C			
D	E, V, v	FASE A	CNR01A
E	J, e, y	FASE B	
F	R, r, u	FASE C	
G	$\perp$		
H			
I	x		CNR01A

**Tabla 5.3.** Relación y caracterización de pines del motor 3.

MOTOR 4			
PIN MOTOR	PIN SALIDA	DESCRIPCIÓN	CONECTOR
A			CNR02
B	N, y	FASE A	

C	d, j	-BRAKE	
D			
E	$\perp$		
F	T, C	FASE B	
G	j	-BRAKE	
H	H	+ BRAKE	
I	F, b	FASE C	

**Tabla 5.4.** Relación y caracterización de pines del motor 4.

MOTOR 5			
PIN MOTOR	PIN SALIDA	DESCRIPCIÓN	CONECTOR
A			CNR02
B	G, O	FASE A	
C	j, h	-BRAKE	
D			
E	$\perp$		
F	H, P	FASE B	
G	j, h	-BRAKE	
H	d	+ BRAKE	
I	D, U	FASE C	

**Tabla 5.5.** Relación y caracterización de pines del motor 5.

MOTOR 6			
PIN MOTOR	PIN SALIDA	DESCRIPCIÓN	CONECTOR
A			CNR02
B	R, r	FASE A	

C	d, y	-BRAKE	
D			
E	$\perp$		
F	E, V	FASE B	
G	d, h	-BRAKE	
H	j	+BRAKE	
I	J, e	FASE C	

**Tabla 5.6.** Relación y caracterización de pines del motor 6.

## 5.2 Relación de pines para conexiones de encoder

MOTOR 1		
PIN ENCODER	PIN SALIDA	DESCRIPCIÓN
A	A	Señal A de encoder
B	a	Señal -A de encoder
C	C	Señal B de encoder
D	K	Señal -B de encoder
E	F	
F	N	Señal index de encoder
G	L	GND
H	D	VCC
J	m, $\perp$	
R		
T		

**Tabla 5.7.** Relación de pines del encoder para el motor 1.

MOTOR 2		
PIN ENCODER	PIN SALIDA	DESCRIPCIÓN
A	B	Señal A de encoder
B	H	Señal –A de encoder
C	E	Señal B de encoder
D	M	Señal –B de encoder
E	J	
F	R	Señal index de encoder
G	L	GND
H	D	VCC
J	m, $\perp$	
R		
T		

**Tabla 5.8.** Relación de pines del encoder para el motor 2.

MOTOR 3		
PIN ENCODER	PIN SALIDA	DESCRIPCIÓN
A	J	Señal A de encoder
B	u	Señal –A de encoder
C	q	Señal B de encoder
D	y	Señal –B de encoder
E	v	
F	AC	Señal index de encoder
G	x	GND
H	P	VCC
J	m, $\perp$	
R	-	
T	-	

**Tabla 5.9.** Relación de pines del encoder para el motor 3.

MOTOR 4		
PIN ENCODER	PIN SALIDA	DESCRIPCIÓN
A	p	Señal A de encoder
B	z	Señal –A de encoder
C	v	Señal B de encoder
D	e	Señal –B de encoder
E	a	
F	k	Señal index de encoder
G	d	GND
H	U	VCC
J	m, $\perp$	
R	-	
T	-	

**Tabla 5.10.** Relación de pines del encoder para el motor 4.

MOTOR 5		
PIN ENCODER	PIN SALIDA	DESCRIPCIÓN
A	h	Señal A de encoder
B	t	Señal –A de encoder
C	n	Señal B de encoder
D	w	Señal –B de encoder
E	s	
F	AB	Señal index de encoder
G	x	GND
H	p	VCC
J	m, $\perp$	
R	-	
T	-	

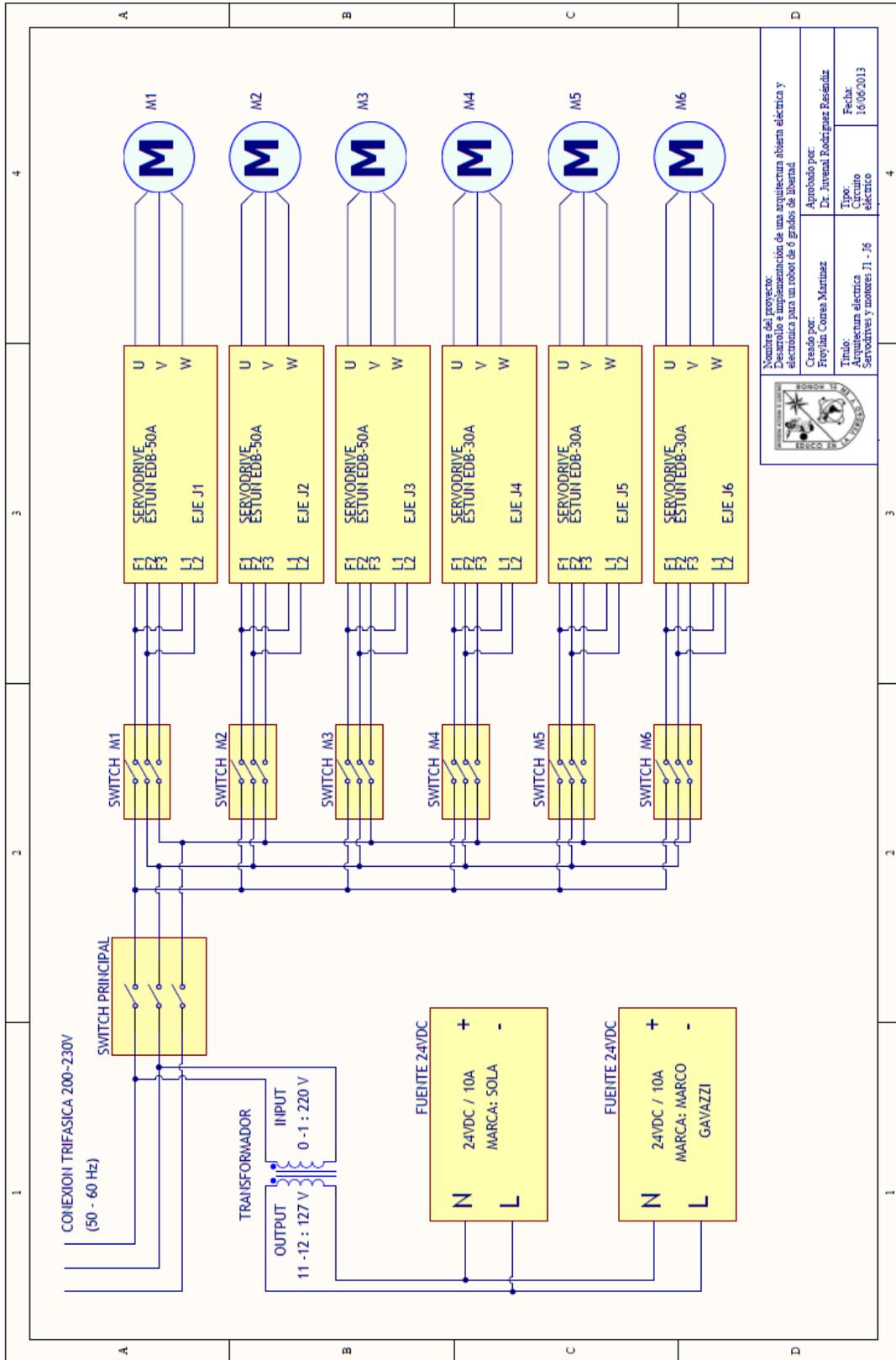
**Tabla 5.11.** Relación de pines del encoder para el motor 5.

MOTOR 6		
PIN ENCODER	PIN SALIDA	DESCRIPCIÓN
A	O	Señal A de encoder
B	Y	Señal –A de encoder
C	T	Señal B de encoder
D	c	Señal –B de encoder
E	X	
F	g	Señal index de encoder
G	d	GND
H	U	VCC
J	m, $\perp$	
R	-	
T	-	

**Tabla 5.12.** Relación de pines del encoder para el motor 6.

### 5.3 Arquitectura eléctrica de Servodrives y motores

En el siguiente esquemático se observa la conexión de los 6 servodrives a la línea de alimentación trifásica, y la conexión de las fuentes de 24V necesarias para activar todos los subsistemas.

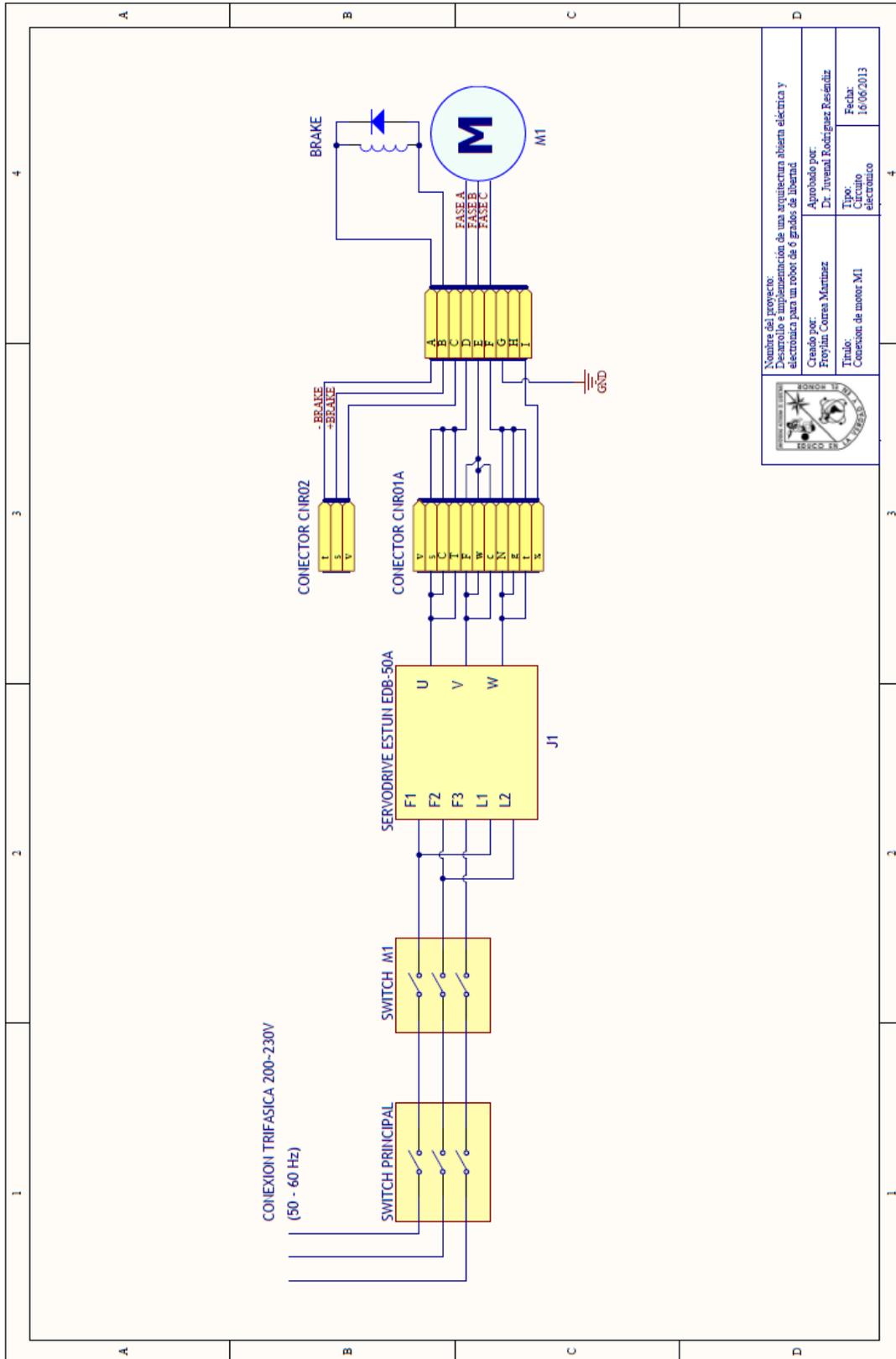


	
Nombre del proyecto: Desarrollo e implementación de una arquitectura abierta eléctrica y electrónica para un robot de 6 grados de libertad.	
Creado por: Froylán Correa Martínez	Aprobado por: Dr. Juvencio Rodríguez Resendiz
Título: Arquitectura eléctrica Servodrives y motores J1 - J6	Tipo: Circuito eléctrico
	Fecha: 16/06/2013

Figura 5.1. Arquitectura eléctrica de servodrives y motores

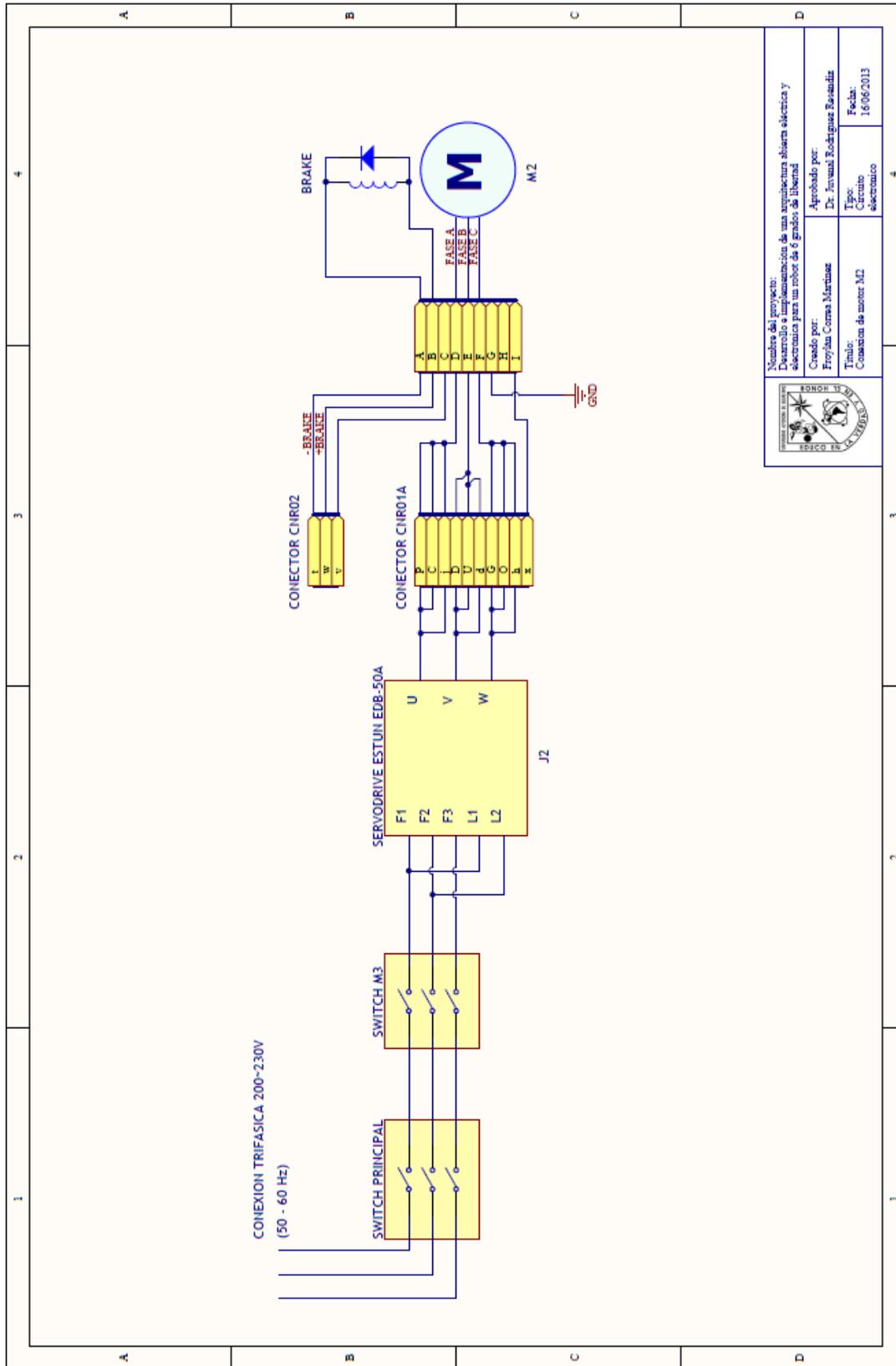
## **5.4 Diagrama de conexión de motores**

En los diagramas siguientes se observan los esquemáticos que se diseñaron para la conexión de cada uno de los 6 servomotores con su respectivo servodrive, incluye la configuración de los pines del motor a los conectores de la base del robot.



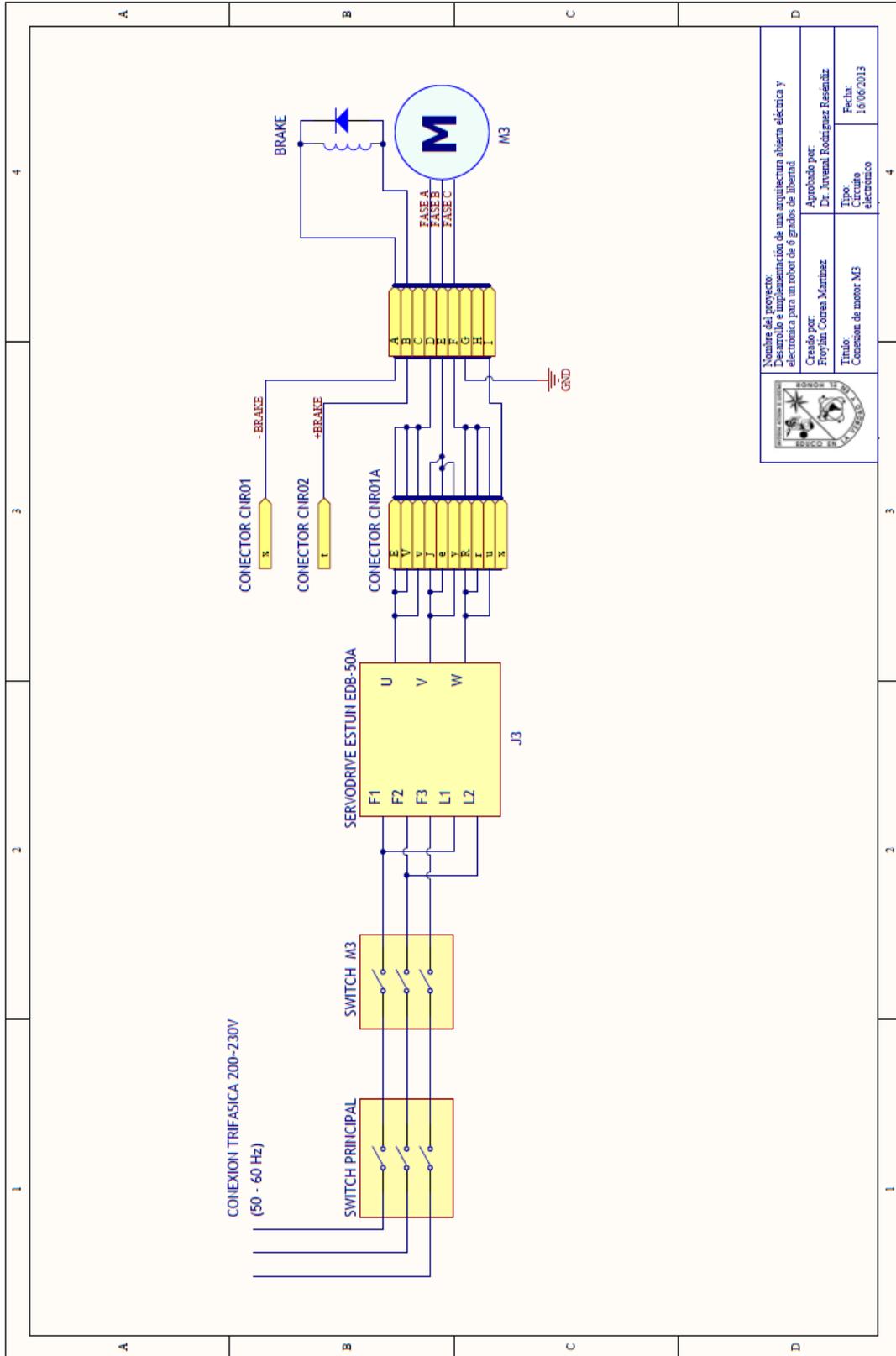
	Nombre del proyecto: Dimensionación de una arquitectura abierta eléctrica y electrónica para un robot de 6 grados de libertad	
	Creado por: Froylán Correa Martínez	
Título: Conexión de motor M1		Aprobado por: Dr. Juvenal Rodríguez Resendiz
Tipo: Circuito electrónico		Fecha: 10/06/2013

Figura 5.2. Conexión de motor M1



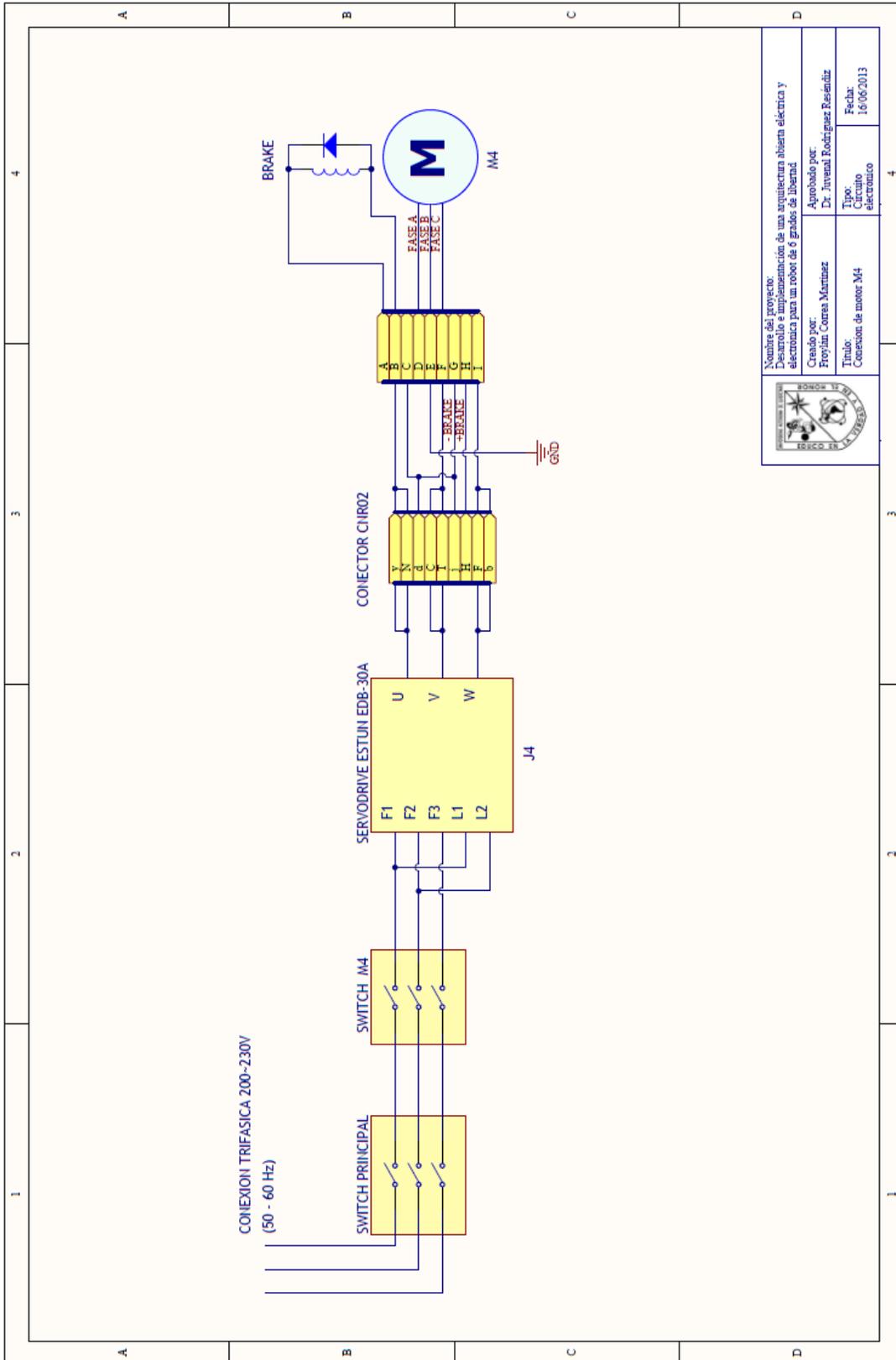
	Nombre del proyecto: Desarrollo e implementación de una arquitectura abierta eléctrica y electrónica para un robot de 6 grados de libertad
	Creado por: Froylan Correa Martínez
Aprobado por: Dr. Juvanal Rodríguez Rosendíz	Tipo: Proyecto electrónico
Título: Conexión de motor M2	Fecha: 16/06/2013

Figura 5.3. Conexión de motor M2



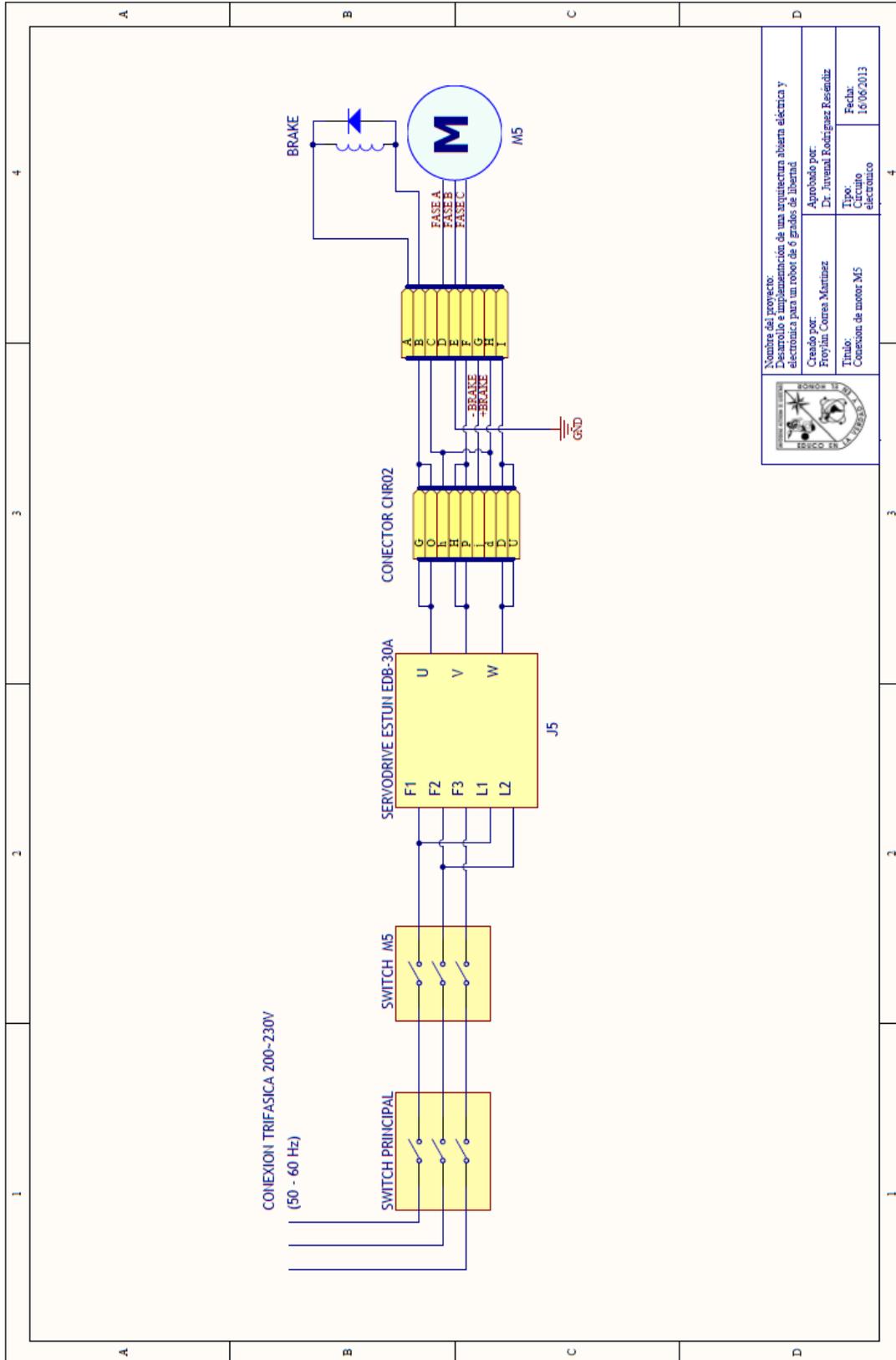
	Nombre del proyecto: Desarrollo e implementación de una arquitectura abierta eléctrica y electrónica para un robot de 6 grados de libertad	
	Creado por: Froylán Correa Martínez	Aprobado por: Dr. Juvanal Rodríguez Reséndiz
Título: Conexión de motor M3		Tipo: Circuito electrónico
		Fecha: 16/06/2013

Figura 5.4. Conexión de motor M3



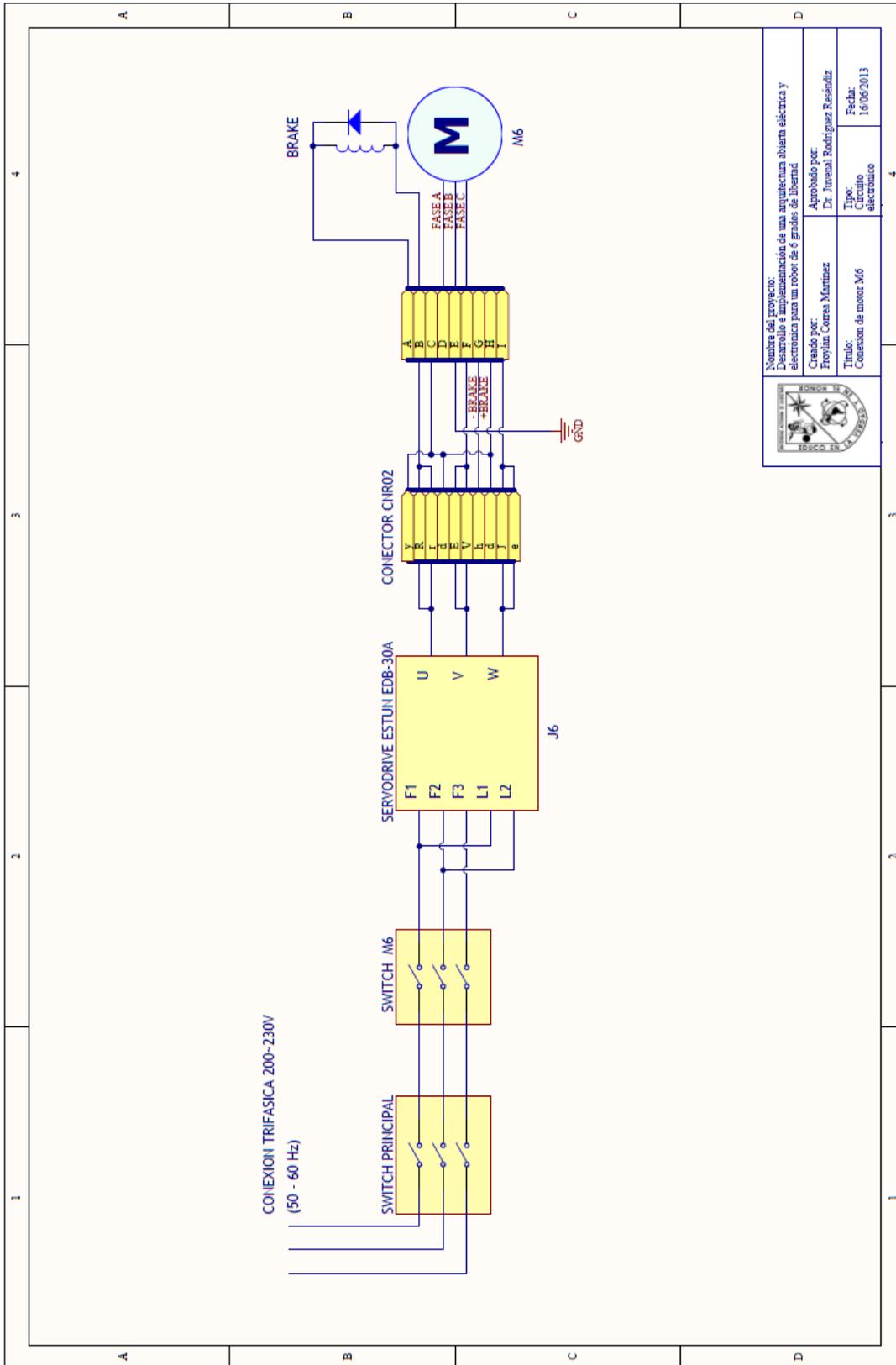
	Nombre del proyecto: Diseño y implementación de una arquitectura abierta electrónica y electrónica para un robot de 6 grados de libertad.
	Creado por: Freddy Correa Martínez
Aprobado por: Dr. Juvenal Rodríguez Resendiz	Tipo: Circuito electrónico
Título: Conexión de motor M4	Fecha: 10/06/2013

Figura 5.5. Conexión de motor M4



	
Nombre del proyecto: Diseño y implementación de una arquitectura abierta electrónica y electrónica para un robot de 6 grados de libertad	
Creado por: Froylan Correa Martínez	Aprobado por: Dr. Juvenal Rodríguez Resendiz
Título: Conexión de motor M5	Tipo: Circuito electrónico
	Fecha: 10/06/2013

Figura 5.6. Conexión de motor M5



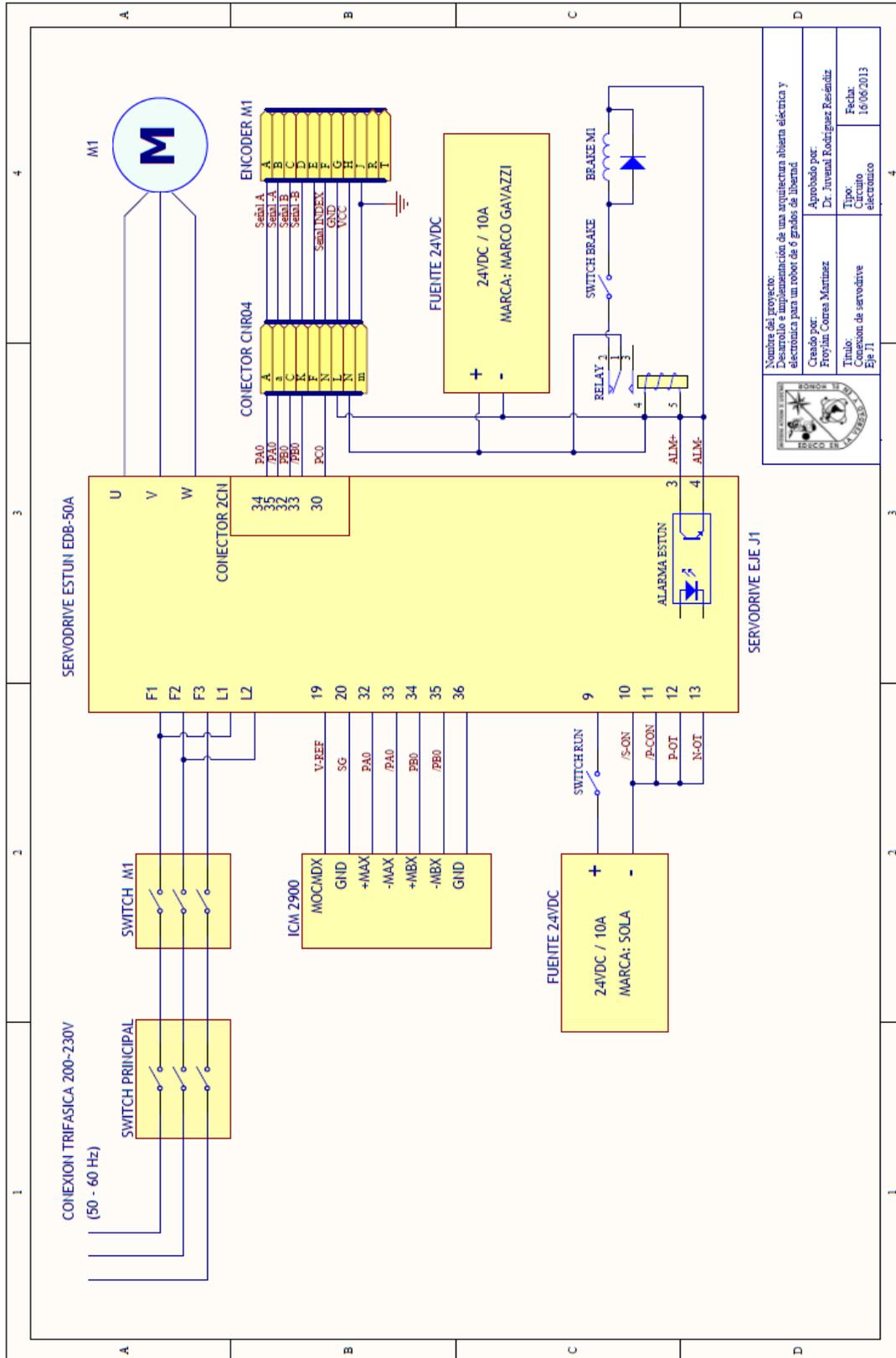
	Nombre del proyecto: Desarrollo e implementación de una arquitectura abierta eléctrica y electrónica para un robot de 8 grados de libertad.	
	Creado por: Froylán Correa Martínez	
Título: Conexión de motor M6		Aprobado por: Dr. Juvencio Rodríguez Reséndiz
Tipo: Proyecto electrónico		Fecha: 16/06/2013

Figura 5.7. Conexión de motor M6

## **5.5 Diagramas de conexión de servodrives**

A continuación se muestran los diagramas de conexión de encoder y señales de control para cada motor, de manera independiente.

En cada diagrama se muestra la conexión del encoder hasta el conector ubicado en la base del robot, la conexión con el servodrive, y la conexión del servodrive con el controlador de movimiento Galil 1866 a través del modulo ICM1900.



	
Nombre del proyecto: Diseño e implementación de una arquitectura robótica eléctrica y electrónica para un robot de 6 grados de libertad.	
Creado por: Froylan Correa Martínez	
Aprobado por: Dr. Juvenal Rodríguez Reséndiz	
Título: Conexión de servodrive Eje J1	Tipo: Circuito electrónico
Fecha: 16/06/2013	

Figura 5.8. Conexión de servodrive, Eje J1.

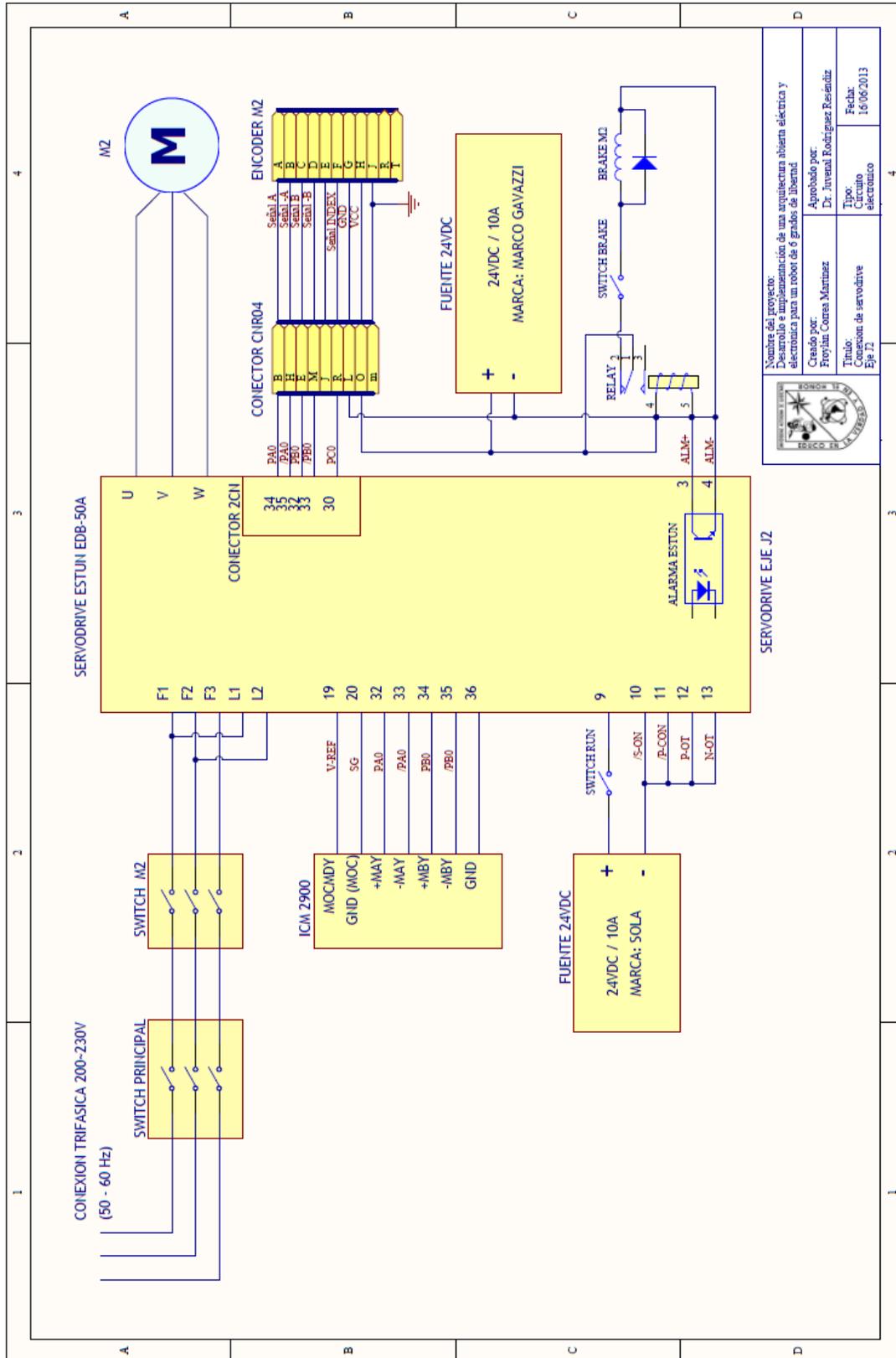


Figura 5.9. Conexión de servodrive, Eje J2.

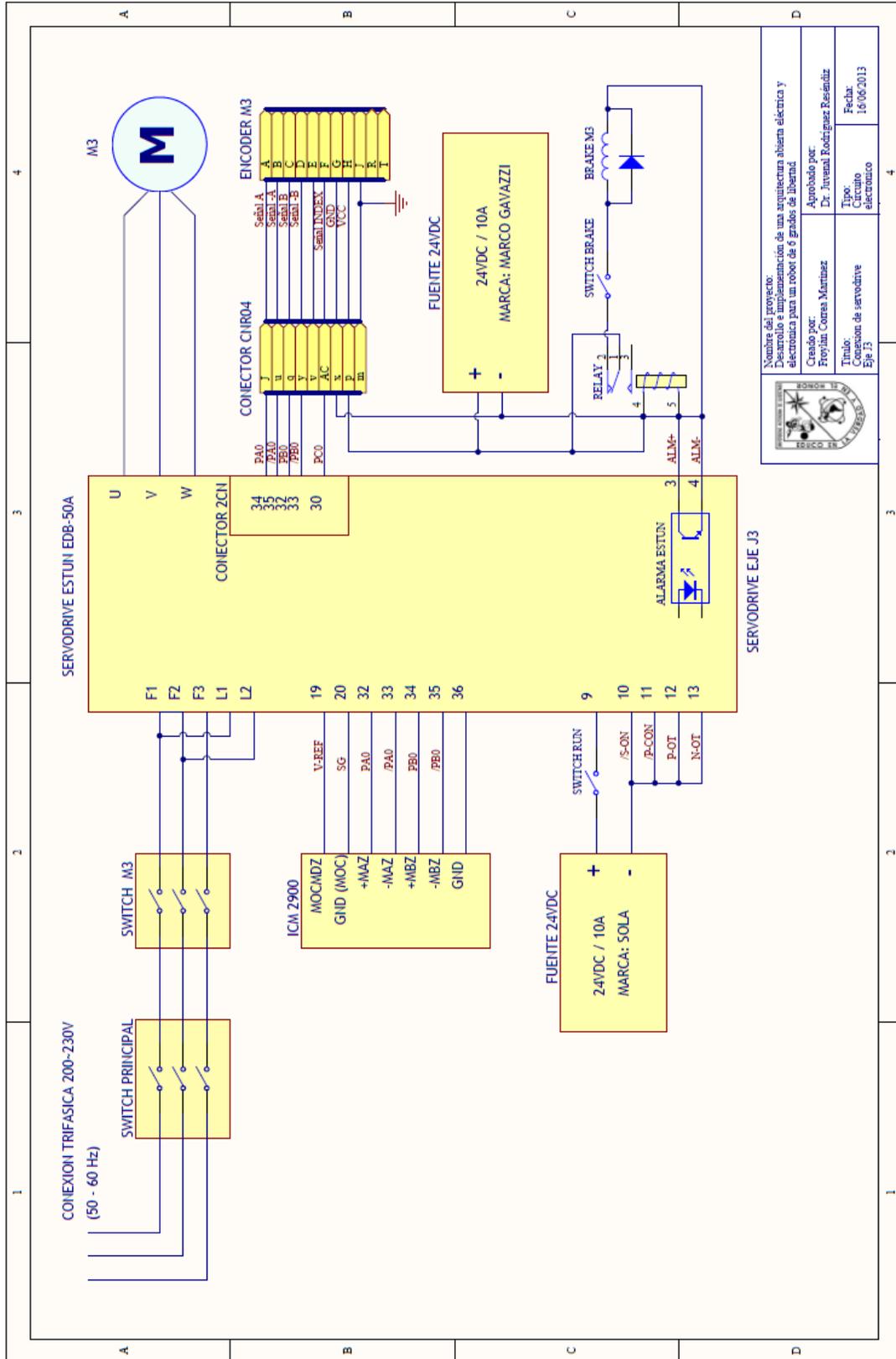


Figura 5.10. Conexión de servodrive, Eje J3.

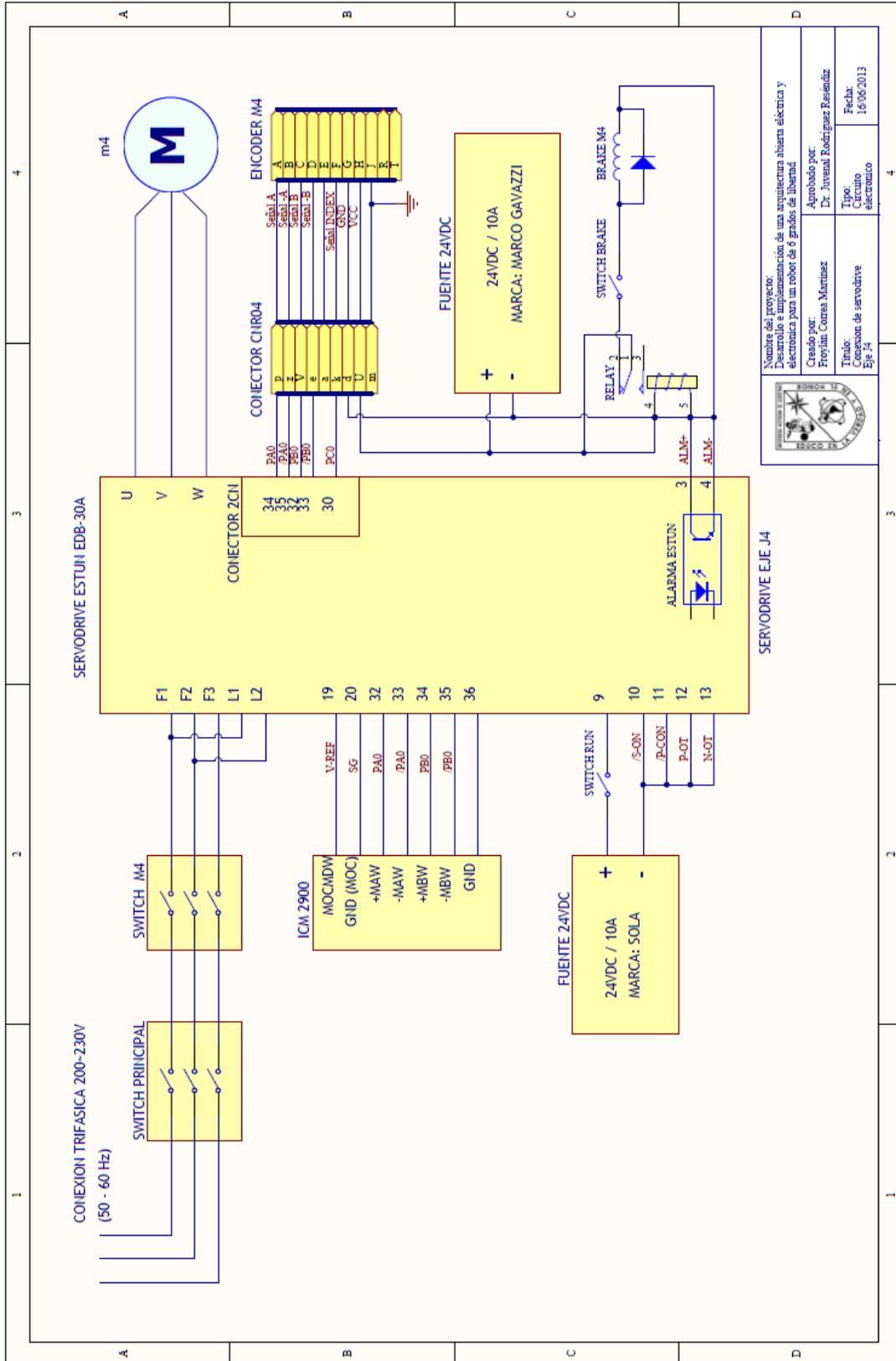


Figura 5.11. Conexión de servodrive, Eje J4.

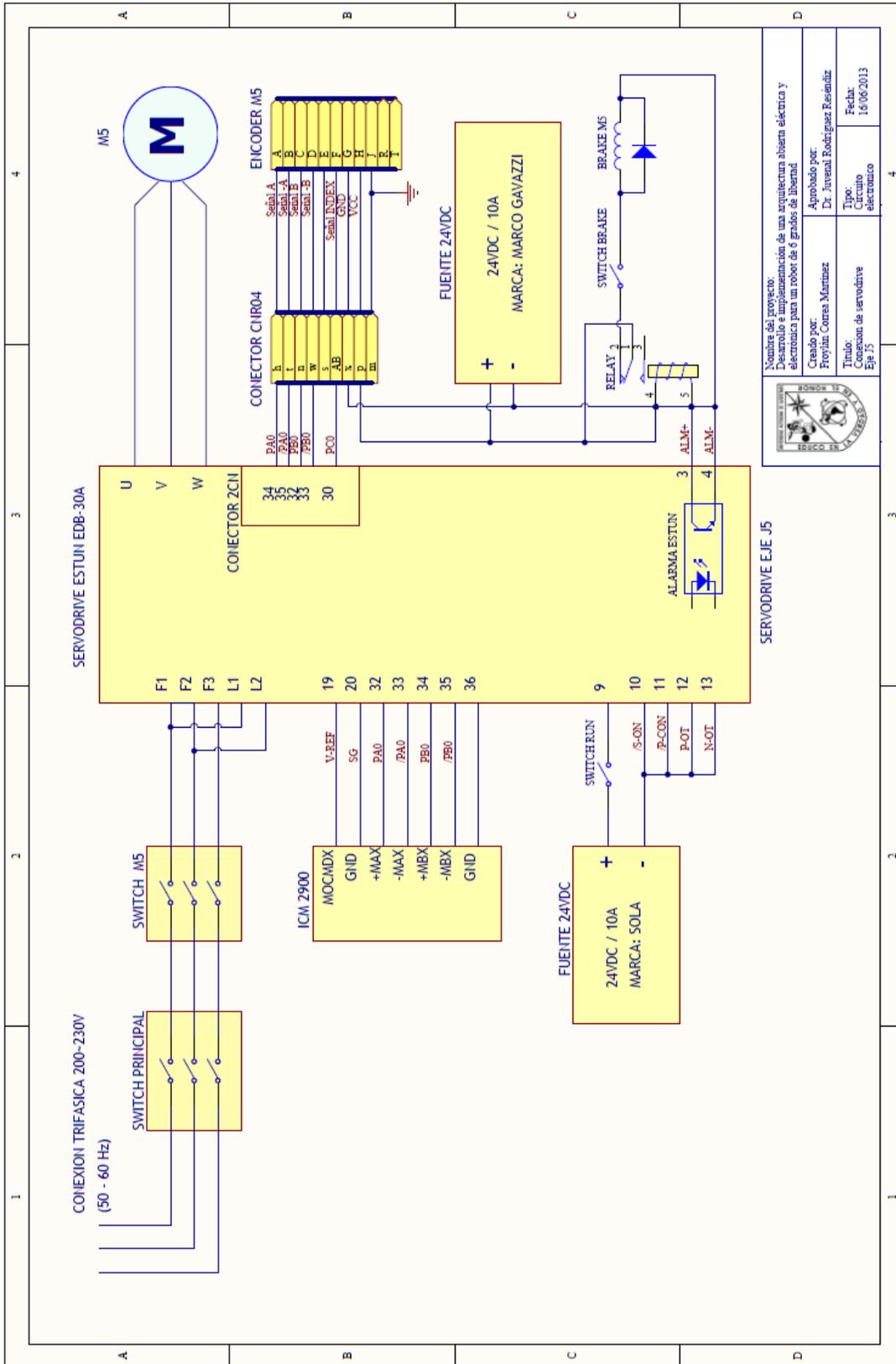
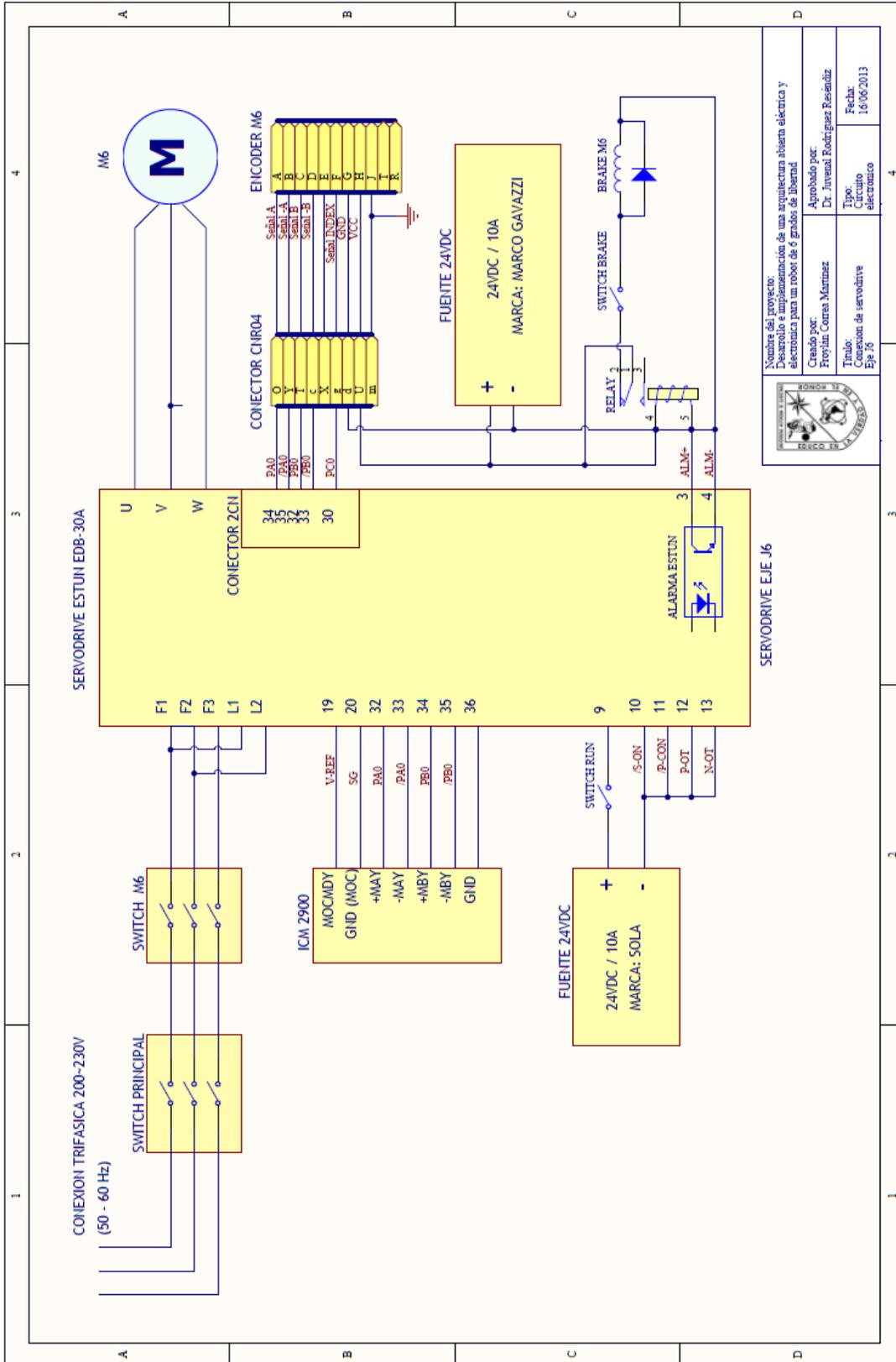


Figura 5.12. Conexión de servodrive, Eje J5.



	Nombre del proyecto: Desarrollo electrónico de una arquitectura abierta eléctrica y electrónica para un robot de 6 grados de libertad.	
	Creado por: Froylan Correa Martínez	Aprobado por: Dr. Juvanel Rodríguez Reséndiz
Título: Conexión de servodrive Eje J6	Tipo: Circuito electrónico	Fecha: 10/06/2013

Figura 5.13. Conexión de servodrive, Eje J6.

