



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN CONTROL Y REDES**  
**INDUSTRIALES**

*“IMPLEMENTACIÓN DE LA TECNOLOGÍA GENERIC MOTION  
CONTROL Y POWERLINK SOBRE UN ROBOT INDUSTRIAL DE  
CONFIGURACIÓN CARTESIANA PARA LA EMPRESA CAE  
SOLUTIONS EC.”*

Trabajo de titulación presentado para optar al grado académico de:  
**INGENIERO EN ELECTRÓNICA, CONTROL Y REDES**  
**INDUSTRIALES**

**AUTORES: SALAZAR JARRÍN MÓNICA AMPARO**  
**URBANO CASTILLO CHRISTIAN MANUEL**  
**TUTOR: ING. PAUCAR SAMANIEGO JORGE LUIS**

**RIOBAMBA-ECUADOR**

**2016**

©2016, Salazar Jarrín Mónica Amparo y Urbano Castillo Christian Manuel

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

## **DEDICATORIA**

En primera instancia a Dios por permitirnos llegar hasta aquí, a mi hija Génesis por ser mi principal motivación en todo momento, a mi hermano Diego por todo su apoyo incondicional, a todos mis familiares y amigos que estuvieron presentes para el desarrollo y culminación de este trabajo.

**Mónica**

El presente trabajo me faltaría hojas para dedicar, pero principalmente quiero agradecer a mis padres quienes han sido el pilar fundamental de todo esto, familiares y amigos que estuvieron en todo momento dándome ánimos para culminar este sueño tan esperado y anhelado.

**Christian**

## **AGRADECIMIENTO**

A nuestras familias, amigos y docentes que se forjaron en todo este tiempo.

A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, en especial a la Facultad de Informática y Electrónica, Escuela de Ingeniería Electrónica, Control y Redes Industriales, noble Institución que compartió sus conocimientos y experiencias para llegar a nuestra meta.

Al Ing. Jorge Luis Paucar y al Ing. Fausto Pullas por su tiempo y asesoramiento en la dirección de este proyecto.

Y a todas las personas, amigos y compañeros que contribuyeron para la culminación de esta investigación.

**Mónica y Christian**

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA, CONTROL Y REDES INDUSTRIALES**

El Tribunal del Trabajo de Titulación certifica que: El trabajo Investigativo - Práctico: **“IMPLEMENTACIÓN DE LA TECNOLOGÍA GENERIC MOTION CONTROL Y POWERLINK SOBRE UN ROBOT INDUSTRIAL DE CONFIGURACIÓN CARTESIANA PARA LA EMPRESA CAE SOLUTIONS EC”** de responsabilidad de los señores egresados Mónica Amparo Salazar Jarrín y Christian Manuel Urbano Castillo, ha sido prolijamente revisado por los Miembros del Trabajo de Titulación, quedando autorizada su presentación.

	FIRMA	FECHA
<b>DR. MIGUEL TASAMBAY PhD.</b> <b>DECANO DE LA FIE</b>	_____	_____
<b>ING. WILSON ZUÑIGA</b> <b>DIRECTOR DE ESCUELA</b>	_____	_____
<b>ING. JORGE LUIS PAUCAR</b> <b>DIRECTOR DEL TRABAJO</b> <b>DE TITULACIÓN</b>	_____	_____
<b>ING. JANETH ARIAS</b> <b>MIEMBRO DE TRIBUNAL</b>	_____	_____

## **TEXTO DE RESPONSABILIDAD**

Nosotros, **Salazar Jarrín Mónica Amparo y Urbano Castillo Christian Manuel**, somos responsables de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en este Trabajo de Titulación; y el patrimonio intelectual del Trabajo de Titulación, pertenece a la **ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

.....  
**Mónica Amparo Salazar Jarrín**

.....  
**Christian Manuel Urbano Castillo**

## SIMBOLOGÍA

$\ddot{\theta}$	Aceleración angular
$\theta$	Ángulo o posición angular
$\dot{\theta}$	Velocidad angular
$\eta$	Eficiencia de la transmisión
$\tau_{art}$	Par necesario en la articulación sin carga
$\tau_{motor}, \tau_q$	Par del motor
$\tau_{red}$	Par máximo con la reducción
$L$	Longitud de eslabones
$\ddot{\theta}_{max}$	Aceleración angular máxima
$\ddot{\theta}_{min}$	Aceleración angular mínima
$e(t)$	Error de posición
$FS$	Factor de seguridad sin carga
$g$	Constante de la aceleración de la gravedad
$\mathbf{g}(\mathbf{q})$	Vector de pares gravitacionales
$h$	Distancia perpendicular del extremo del antebrazo al eje de giro de la articulación
$i$	Variable generalizada
$I_i$	Momento de inercia del eslabón $i$ respecto a su eje de giro
$j$	Variable generalizada
$J, I$	Momento de inercia
$J_{ep}$	Momento de inercia debido al teorema de ejes paralelos
$J_{total}$	Momento de inercia total
$k$	Variable generalizada
$K$	Energía cinética
$g$	Gramos
$h$	Hora
$Kg$	Kilogramo
$N$	Newton
$mm$	Milímetros
$Min$	Minuto
$R$	Radical

<i>Rpm</i>	Revoluciones por minuto
<i>Kg</i>	Kilogramo
<i>M</i>	Metro

## **ABREVIATURAS**

CAD	Computer Aided Desing (Diseño Asistido por Computador)
CAE	Computer Aided Engineering (Ingeniería Asistida por Computador)
CAM	Computer Aided Manufacturing (Fabricación Asistida por Computador)
GMC	Generic Motion Control
IEEE	Instituto de ingeniería eléctrica y electrónica.
PD	Control Proporcional Derivativo
PI	Control Proporcional Integral
PID	Control Proporcional Integral Derivativo
PK	Sistema de comunicación Ethernet Powerlink
TCP	Transmission Control Protocol
UDP	User Datagram Protocol

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE TABLAS.....	xiii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiv
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xvi
ÍNDICE DE ECUACIONES .....	xvii
ÍNDICE DE ANEXOS .....	xviii

### CAPITULO I

<b>1. MARCO REFERENCIAL .....</b>	<b>- 5 -</b>
1.1. Antecedentes .....	- 5 -
1.2. Estado del Arte .....	- 7 -
1.3. Morfología de los robots .....	- 12 -
1.3.1. Configuraciones básicas .....	- 13 -
1.3.2. Configuración polar.....	- 13 -
1.3.3. Configuración cilíndrica.....	- 13 -
1.3.4. Configuración de coordenadas cartesianas.....	- 13 -
1.3.5. Configuración de brazo articulado .....	- 14 -
1.4. Clasificación de robots basados en generaciones de sistemas de control....	- 15 -
1.4.1. La primera generación.....	- 15 -
1.4.2. La segunda generación .....	- 15 -
1.4.3. La tercera generación .....	- 15 -
1.4.4. La cuarta generación .....	- 15 -
1.5. Arquitecturas de los robots.....	- 16 -
1.5.1. Poliarticulados .....	- 16 -
1.5.2. Móviles.....	- 16 -
1.5.3. Androides .....	- 17 -
1.5.4. Zoomórficos .....	- 17 -
1.5.5. Híbridos.....	- 17 -
1.6. Campos de aplicación.....	- 18 -
1.7. Generic Motion Control .....	- 18 -
1.7.1. GMC software .....	- 19 -
1.7.2. Aplicación para interpretación ST:.....	- 20 -
1.7.3. Fuerte Tipificación .....	- 21 -
1.8. Comunicación POWERLINK .....	- 22 -

### CAPÍTULO II

<b>2. MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>- 25 -</b>
2.1. Sistema de automatización industrial con autómatas .....	- 25 -
2.2. Sistemas de automatización en CAESOLUTIONSEC.....	- 26 -
2.3. Herramientas en el proceso de automatización .....	- 27 -
2.4. Técnicas empleadas en automatización.....	- 28 -
2.5. Fases de diseño mecánico para construcción de prototipo .....	- 28 -
2.5.1. Dimensionar .....	- 29 -

2.5.2.	Diagramar .....	- 29 -
2.5.3.	Determinar .....	- 30 -
2.5.4.	Ensamblar .....	- 30 -
2.5.5.	Simular .....	- 30 -
2.6.	Características del robot cartesiano. ....	- 30 -
2.7.	Módulos lineales.....	- 31 -
2.7.1.	Componentes principales de un sistema de posicionamiento:.....	- 33 -
2.7.2.	Tareas en donde son empleados los robots cartesianos:.....	- 34 -
2.8.	Grados de libertad. ....	- 37 -
2.9.	Articulaciones o Eslabones. ....	- 37 -
2.10.	Volumen de trabajo. ....	- 38 -
2.11.	Capacidad de carga.....	- 38 -
2.12.	Precisión. ....	- 38 -
2.13.	Efector. ....	- 39 -
2.14.	Servomotores.....	- 40 -
2.15.	Servoaccionamiento. ....	- 40 -
2.16.	Touch panel y tarjetas.....	- 41 -
2.17.	Sistemas de fuerza en un robot industrial.....	- 42 -
2.17.1.	Actuadores de fuerza hidráulicos. ....	- 42 -
2.17.2.	Actuadores de fuerza eléctricos.....	- 42 -
2.17.3.	Actuadores de fuerza Neumáticos .....	- 43 -
2.18.	Trasmisiones y reducciones.....	- 44 -
2.19.	Cadenas Portacables .....	- 44 -
2.20.	Sistema sensorial .....	- 45 -
2.21.	Herramientas de simulación .....	- 45 -
2.22.	Software Catia v5 .....	- 46 -
2.23.	Solidworks.....	- 46 -
2.24.	Msc Adams.....	- 46 -
2.25.	Co- simulación .....	- 47 -
2.26.	Automation Studio B&R .....	- 48 -
2.27.	Sistemas de control empleados en robots industriales.....	- 49 -
2.28.	Sistema de control de lazo abierto.....	- 49 -
2.29.	Sistema de control de lazo cerrado.....	- 50 -
2.30.	Control de posición .....	- 50 -
2.30.1.	Control de posición con retroalimentación de velocidad y control PD.....	- 50 -
2.30.2.	Controlador PD con compensación de gravedad.....	- 51 -
2.30.3.	Controlador PD con compensación de gravedad pre-calculada .....	- 52 -
2.30.4.	Control PID .....	- 52 -
2.31.	Control de movimiento.....	- 53 -
2.31.1.	Control por compensación.....	- 53 -
2.31.2.	Control por pre-compensación. ....	- 54 -

2.32.	Modelo cinemático y dinámico del robot cartesiano.....	- 55 -
2.33.	Descripción física y geométrica del robot cartesiano.....	- 55 -
2.34.	Cinemática.....	- 62 -
2.34.1.	Modelo cinemático directo.....	- 63 -
2.34.2.	Modelo cinemático inverso .....	- 63 -
2.35.	Modelo dinámico.....	- 63 -
2.35.1.	Modelo dinámico inverso.....	- 64 -
2.35.2.	Modelo dinámico Directo.....	- 65 -
2.36.	Modelo geométrico directo del robot .....	- 65 -
2.37.	Modelo de simulación en Catia .....	- 67 -
2.38.	Modelo de simulación en Solidworks .....	- 69 -
2.39.	Modelo de simulación en Msc. Adams .....	- 70 -
2.40.	Modelo de Co - Simulación y estrategias de control.....	- 71 -
2.41.	Escenario 1 .....	- 72 -
2.42.	Modelo de Co-Simulación Adams MATLAB .....	- 75 -
2.43.	Tecnología de accionamiento MOTION CONTROL <i>ETA410.0100-110...</i>	- 78 -
2.44.	Topología .....	- 79 -

### **CAPÍTULO III**

<b>3.</b>	<b>IMPLEMENTACIÓN DE LA TECNOLOGÍA Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.....</b>	<b>- 80 -</b>
3.1.	Desarrollo del Robot .....	- 80 -
3.1.1.	Estudio del Manipulador Robótico Cartesiano.....	- 81 -
3.1.2.	Sistema Mecánico de Movimiento .....	- 81 -
3.1.3.	Transferencia de Potencia .....	- 81 -
3.1.4.	Actuadores en el robot cartesiano.....	- 81 -
3.1.5.	Proceso de fijación .....	- 82 -
3.2.	Estructura final .....	- 83 -
3.2.1.	Tablero eléctrico.....	- 85 -
3.2.1.1.	Consola de control.....	- 86 -
3.2.2.	Circuitos de control .....	- 86 -
3.2.2.1.	Funcionamiento del circuito de alimentación externa.....	- 86 -
3.2.2.2.	Componentes del circuito de protección y de alimentación.....	- 87 -
3.3.	Programación .....	- 88 -
3.4.	Costos .....	- 91 -
3.4.1.	Costo de materiales .....	- 91 -

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

BIBLIOGRAFÍA

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-2:	Elementos del robot cartesiano.....	- 31 -
Tabla 2-2:	Tipos de sensores internos en un robot.....	- 45 -
Tabla 3-2:	Descripción de los ejes. ....	- 55 -
Tabla 4-2:	Variables de la configuración omega .....	- 55 -
Tabla 5-2:	Asignación de variables a los eslabones.....	- 63 -
Tabla 6-2:	D-H robot cartesiano .....	- 66 -
Tabla 7-2:	Características de los eslabones.....	- 74 -
Tabla 8-2:	Características de los motores ubicados en el robot cartesiano .....	- 74 -
Tabla 3-1:	Descripción de actuadores robot cantiléver .....	- 82 -
Tabla 2-3:	Lista de materiales y precios del robot cartesiano .....	- 92 -

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1	Productos B&R.....	- 6 -
Figura 2-1	Panel Pc.....	- 6 -
Figura 3-1	Productos de YUDO Co. Ltd. ....	- 10 -
Figura 4-1	Distintos tipos de articulaciones para robots .....	- 13 -
Figura 5-1	Robot de configuración cartesiana .....	- 14 -
Figura 6-1	Configuraciones de robot cartesianos.....	- 14 -
Figura 7-1	Combinación de funcionalidades presentado por GMC.....	- 18 -
Figura 8-1	Detalle de exterior de un GMC. ....	- 19 -
Figura 9-1	Logotipo de Ethernet Powerlink.....	- 22 -
Figura 1-2	Robot cartesiano de CAESOLUTIONS. ....	- 30 -
Figura 2-2	Clasificación de módulos lineales o guías.....	- 32 -
Figura 3-2	Especificaciones riel Eje Z .....	- 32 -
Figura 4-2	Características riel Eje Y y Eje X.....	- 33 -
Figura 5-2	Clasificación de módulos lineales o guías.....	- 34 -
Figura 6-2	Tareas realizadas por cartesianos en la industria.....	- 34 -
Figura 7-2	Tareas realizadas por cartesianos en la industria de transporte.....	- 35 -
Figura 8-2	Tareas realizadas por cartesianos en la industria de paletizado.....	- 35 -
Figura 9-2	Tareas realizadas por cartesianos en la industria de corte.....	- 36 -
Figura 10-2	Tareas realizadas por cartesianos en la industria de ensamble.....	- 36 -
Figura 11-2	Tareas realizadas por cartesianos en la industria de ensamble.....	- 37 -
Figura 12-2	Robot cartesiano eslabones y movimiento. ....	- 37 -
Figura 13-2	Volumen de trabajo. ....	- 38 -
Figura 14-2	Correa de tipo HTD5.....	- 39 -
Figura 15-2	Piñón cremallera y efector final. ....	- 39 -
Figura 16-2	Tipos de ventosas .....	- 39 -
Figura 17-2	Servomotor serie 8LV .....	- 40 -
Figura 18-2	Acopos serie 1010 a 0.45kw.....	- 41 -
Figura 19-2	Touch panel serial pp65 .....	- 41 -
Figura 20-2	Cilindro neumático .....	- 44 -
Figura 21-2	Parámetros para dimensionar un servomotor .....	- 44 -
Figura 22-2	Cadena porta cables con cables en su interior.....	- 45 -
Figura 23-2	Logo de Catia v5 .....	- 46 -
Figura 24-2	Logo de Solidworks.....	- 46 -
Figura 25-2	Logo de Adams .....	- 47 -
Figura 26-2	Logo de Matlab-Simulink .....	- 48 -
Figura 27-2	Logo de Automation Studio de B&R.....	- 49 -
Figura 28-2	Sistema dinámico malla cerrada.....	- 50 -
Figura 29-2	Control PD.....	- 51 -
Figura 30-2	Control PD con compensación de gravedad.....	- 52 -
Figura 31-2	Control PD con compensación de gravedad pre calculado .....	- 52 -
Figura 32-2	Control PID .....	- 53 -
Figura 33-2	Control de movimiento.....	- 53 -
Figura 34-2	Control de movimiento.....	- 54 -
Figura 35-2	Control de movimiento.....	- 54 -
Figura 36-2	Configuración de sistema omega.....	- 56 -
Figura 37-2	Configuración de sistema omega.....	- 58 -
Figura 38-2	Cálculo de valores del sistema omega eje y .....	- 59 -
Figura 39-2	Cálculo de valores del sistema omega eje z .....	- 59 -
Figura 40-2	Configuración de sistema omega.....	- 60 -
Figura 41-2	Variables de la fuerza <b>FUI</b> .....	- 61 -

Figura 42-2	Cálculo de valores del sistema omega eje x .....	- 62 -
Figura 43-2	Modelo de Control dinámico inverso.....	- 65 -
Figura 44-2	Modelo de Control dinámico directo.....	- 65 -
Figura 45-2	Modelo de Control dinámico inverso.....	- 66 -
Figura 46-2	Partes del robot cartesiano software Catia.....	- 68 -
Figura 47-2	Modelo de simulación en SOLIDWORKS .....	- 69 -
Figura 48-2	Ensamble en SOLIDWORKS .....	- 70 -
Figura 49-2	Importación De SOLIDWORKS A Msc ADAMS. ....	- 71 -
Figura 50-2	Circuito básico de un motor. ....	- 72 -
Figura 51-2	Movimientos de estudio .....	- 73 -
Figura 52-2	Valores de esfuerzo de movimiento en sus ejes .....	- 73 -
Figura 53-2	Lazo de control de un motor en Matlab.....	- 74 -
Figura 54-2	Sistema de entradas y salidas Adams-Matlab .....	- 75 -
Figura 55-2	Sistema de Adams Plant .....	- 75 -
Figura 56-2	Diagrama de control Adams Matlab.....	- 76 -
Figura 57-2	Sistema de control de movimiento. ....	- 77 -
Figura 58-2	Gráficas producidas durante la simulación en Adams.....	- 78 -
Figura 59-2	Ejemplo de uso de Servo drivers .....	- 79 -
Figura 60-2	Topología de accionamientos ETA410.0100-110 .....	- 79 -
Figura 1-3	Eje X sistema final. ....	- 83 -
Figura 2-3	Eje Y sistema final .....	- 83 -
Figura 3-3	Eje Z sistema final.....	- 84 -
Figura 4-3	Diseño efector final .....	- 85 -
Figura 5-3	Sistema omega en el robot cartesiano. ....	- 86 -
Figura 6-3	Tablero Eléctrico.....	- 86 -
Figura 7-3	Funcionamiento del circuito de alimentación. En CADESIMU .....	- 87 -
Figura 8-3	Parámetros de configuración Ethernet Powerlink del autómeta.....	- 88 -
Figura 9-3	Parámetros de configuración del Servo driver. ....	- 89 -
Figura 10-3	Creación de los esclavos con asignación de eje. ....	- 89 -
Figura 11-3	Sistema de control robot cartesiano.....	- 90 -
Figura 12-3	Declaración de variables globales e internas del sistema .....	- 90 -
Figura 13-3	Diagrama de flujo de cada eje. ....	- 91 -
Figura 14-3	Imagen de resultados pregunta .....	- 93 -
Figura 15-3	Imagen de resultados pregunta 2 de encuesta.....	- 94 -
Figura 16-3	Imagen de resultados pregunta 5 de encuesta.....	- 94 -
Figura 17-3	Imagen de resultados pregunta 6 de encuesta.....	- 95 -
Figura 18-3	Imagen de resultados pregunta 3 de encuesta.....	- 96 -
Figura 19-3	Imagen de resultados pregunta 4 de encuesta.....	- 97 -
Figura 20-3	Imagen de resultados pregunta 7 de encuesta.....	- 98 -
Figura 21-3	Imagen de resultados pregunta 8 de encuesta.....	- 98 -

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-2	Elementos que intervienen en la automatización.....	- 26 -
Gráfico 2-2	Fases de la automatización .....	- 27 -
Gráfico 3-2	Fases de la construcción mecánica .....	- 29 -
Gráfico 4-2	Cinemática del robot.....	- 62 -

## ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1-2	Ecuación dinámica de un sistema de control lazo cerrado.....	50 -
Ecuación 2-2	Ecuación de un sistema de control de posición.....	50 -
Ecuación 3-2	Ecuación del Control Proporcional con Retroalimentación .....	51 -
Ecuación 4-2	Ecuación de control PD con compensación de gravedad .....	51 -
Ecuación 5-2	Ecuación de controlador PD con compensación de gravedad pre-calculada..	52 -
Ecuación 6-2	Ecuación de un control integral derivativo.....	53 -
Ecuación 7-2	Ecuación de control por compensación. ....	53 -
Ecuación 8-2	Ecuación de control por pre compensación. ....	54 -
Ecuación 9-2	Ecuación de movimiento lineal con relación al movimiento angular.....	56 -
Ecuación 10-2	Ecuaciones de aceleraciones franco de subida y franco de bajada. ....	56 -
Ecuación 11-2	Ecuación de fuerza periférica. ....	57 -
Ecuación 12-2	Ecuación para cálculo de el paso de banda. ....	57 -
Ecuación 13-2	Ecuación para el cálculo de número de dientes de la polea.....	58 -
Ecuación 14-2	Número de dientes de la banda .....	58 -
Ecuación 15-2	Cálculo de fuerza en sistema de fuerza periférica .....	60 -
Ecuación 16-2	Fuerza de aceleración con carga máxima .....	60 -
Ecuación 17-2	Fórmula de la aceleración. ....	60 -
Ecuación 18-2	Cálculo de fuerzas externas en un sistema de transmisión .....	61 -
Ecuación 19-2	Cálculo de ángulo de inclinación en un sistema de referencia. ....	61 -
Ecuación 20-2	Ecuaciones de segundo orden para articulaciones en un modelo dinámico ...	64 -
Ecuación 21-2	Ecuación para el cálculo de torque ejercido para cada articulación. ....	64 -
Ecuación 22-2	Matriz homogénea. ....	67 -
Ecuación 23-2	Manejo del espacio de movimiento del efector final .....	67 -
Ecuación 24-2	Función de transferencia .....	67 -

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo A	Vistas lateral y frontal del robot Cartesiano.
Anexo B	Diagrama de conexión del robot cartesiano
Anexo C	Datasheet de los motores del Eje Y y Eje Z
Anexo D	Datasheet del motor Eje X
Anexo E	Datasheet reductores Eje X , Eje Y y Eje Z
Anexo F	Datasheet Acopos 1010 50-2 y Acopos 1016 50-2
Anexo G	Datasheet resolver 8AC122-60-3
Anexo H	Datasheet tarjeta de comunicación Powerlink 8ACC 114 60-2
Anexo I	Datasheet Electroválvula
Anexo J	Datasheet cilindro neumático MI20X25CAG
Anexo K	Datasheet Power Panel 4PP0650571P74
Anexo L	Cadena porta cable de los tres ejes
Anexo M	Fuente de poder 110/24
Anexo N	Programación en ladder del robot cartesiano
Anexo O	Manual Técnico
Anexo P	Manual de Usuario
Anexo Q	Encuesta
Anexo R	Fotos construcción robot

## RESUMEN

Se diseñó, simuló, y se construyó un robot cartesiano de configuración cantiléver y de tipo industrial para la empresa Caesolutionsec Cía. Ltda., los ejes se desplazaron a través de rieles los cuales estuvieron delimitados de movimiento en su espacio físico por sensores de fin de carrera los cuales permitieron delimitar el límite mecánico y a su vez fueron ocupados como referencia para conocer la distancia a la cual se desplazó el robot. El robot tuvo un efector final con sistema de ventosa y cilindro el cual ejecutó el movimiento de un piñón cremallera que generó un movimiento de 90 grados, las ventosas y el cilindro funcionaron con configuración de sistema ON/OFF los cuales cierra el ciclo de programación elaborado en la consola de Automation Studio. El diseño mecánico básico se ejecutó en el programa Catia mientras el sistema mecánico de ensamblaje se realizó en Solidworks mientras el estudio de movimiento se generó en Adams en una co-simulación con Matlab anexado con target Simulink de Automation Studio los cuales nos permitieron observar el comportamiento del robot en su espacio de trabajo además de conocer parte del modelo dinámico para la selección de los elementos para su construcción. La programación se ejecutó bajo la consola de Automation Studio de B&R con la librería de (GMC) Generic Motion Control la cual permite elaborar los controles de manera rápida y segura para procesos de Control Numérico por Computador mejorando los procesos de manipulación. Una parte principal del robot es que tuvo comunicación con protocolo Ethernet Powerlink que posee tecnologías robustas a nivel industrial con el cual se puede desarrollar sistemas completos de control en tiempo real, para controlar desde cualquier otro dispositivo o red remota. Se ejecutó protocolos de pruebas para evidenciar los beneficios de ocupar este tipo de consola y la topología de comunicación industrial, con los cuales se hicieron la comparación con los robots cartesianos previamente investigados a nivel del país.

**Palabras clave:** <GMC>, <SOFTWARE ADAMS>, < SOFTWARE CATIA>, <SOFTWARE AUTOMATION STUDIO>, <SOFTWARE SOLIDWORKS>, <POWERLINK>, <ROBOT>.

## SUMMARY

A Cartesian robot of industrial type and cantilever configuration was designed, simulated and constructed for Caesolutionsec, ltd. Company. The axes moved via rails, demarcated of motion in their physical space by means of limit switches which in turn, enabled to set mechanical limit up and, these were taken as a reference to determine the distance at which the robot will move. The robot had an end effector with a suction pad-like and cylinder system, which performed a rack – pinion movement generating a motion at 90° whereas both, the suction pads and the cylinder work with a configuration of ON / OFF system which ends the programming cycle developed into the Automation Studio console.

The basic mechanical design was developed in the Catia program while the mechanical system assembly was developed in Solidworks. In addition to these resources, the study of movement was created in Adams; in a co-simulation with Matlab attached to target Simulink Automation Studio, which made possible to monitor the robot behaviour in its workspace, as well as to know part of the dynamic model for the selection of items for its construction. The programming was implemented under the console of Automation Studio B&R with the GMC (Generic Motion Control) library, which is useful for developing the controls in fast and safe way; specially, for those procedures of numerical control by computer, improving the handling processes. An important aspect of the robot is it kept communication with Ethernet Powerlink protocol, which owns robust technologies at industrial level, this; makes possible to design full control systems in real-time, in order to monitor from any other device or remote network.

Test protocols were performed to demonstrate the benefits of taking this type of console and topology of industrial communication, which will be compared with Cartesian robots previously analysed at the country level.

**Keywords:** <GMC>, <SOFTWARE ADAMS>, < SOFTWARE CATIA>, <SOFTWARE AUTOMATION STUDIO>, < SOFTWARE SOLIDWORKS>, <POWERLINK>, <ROBOT>.

## **INTRODUCCIÓN**

La automatización industrial está centralizada por períodos de innovación tecnológica con soluciones permanentes. Esto se debe a las diferentes inventivas de automatización que además están muy ligadas a los sucesos de cambios de economía a nivel mundial.

El uso de autómatas industriales junto con sistemas de diseño y los sistemas de fabricación asistidos por una computadora, son la última propensión en automatización de los procesos de fabricación, manipulación y ordenamiento, todos estos procedimientos luego se cargan en el robot para que sean ejecutadas, estas tecnologías llevan a la automatización industrial a otra transformación de alcances aún desconocidos.

Los diseños y construcciones de prototipos de robots con diferentes grados de libertad nos ayudan en la incentiva de fabricación de nuevos sistemas que permitan manipulación y ordenamiento en distintas actividades productivas en diferentes ambientes, con la finalidad de disminuir esfuerzos, riesgos y mejorar tiempos de producción.

Para solventar esta necesidad de innovación regidas al plan del buen vivir que ayudan a tratar de simular los procesos que se dan a nivel industrial y permiten estudiar cómo resolver problemas con procesos de automatización para que sea posible el monitoreo y control en tiempo real desde cualquier parte con otro dispositivo ocupando a los autómatas como parte principal del sistema.

Muchas de las aplicaciones antiguas, actuales y futuras tienen la necesidad de innovar para mejorar los procesos de producción en cualesquier actividad que se desempeñe para lograr mayor beneficio tanto económico como operacional, recortando tiempos, mejorando la calidad y acoplándose al nuevo régimen de innovación contemplado en el plan del buen vivir.

En el campo de los autómatas uno de los que tiene mayor explotación y beneficios es un robot cartesiano, que es un robot que contiene interpretación de tres ejes que permite tener mayor precisión en procesos de manipulación. En base a la investigación a breves rasgos el robot cartesiano presenta muchas características particulares que pueden resultar favorables y desfavorables al determinar diferentes aplicaciones tales como elevamiento de cargas extremadamente pesadas, el espacio que ocupa, desplazamiento en el área.

La necesidad de crear un robot abre grandes puertas para manejo de software, para la elaboración de las piezas los mismos que también permiten hacer simulaciones y análisis de material con los

cuales se observa el comportamiento en el espacio de trabajo del robot, además de dimensionar de forma correcta los sistemas mecánicos que lograrán mover al robot.

En los procesos de pick and place se presenta la necesidad de monitorear, manejar y controlar el sistema, para esto amerita usar herramientas de software como es Automation Studio el cual contiene la librería Generic Motion Control cuya función es realizar los controles del robot mediante la cinemática del mismo, con el cual se obtiene una mayor sincronización en procesos en donde la precisión es uno de los elementos más importantes.

Este proyecto contribuye con conocimientos necesarios para que se elabore un robot de tipo cartesiano con configuración cantiléver, el contenido es diverso ya que necesita conocimiento avanzado de mecánica electrónica e informática por eso se ve limitado a cierto tipo de lectores que contengan una formación técnica.

Tras la revisión de su contenido el robot será un principio de adquisidor de grandes conocimientos en la formación técnica incentivando a la elaboración de este tipo de robots con tecnología industrial y con productos B&R con la finalidad de proporcionar avances de tecnologías robustas en el campo industrial.

### **Planteamiento del problema.**

¿Cuáles son los factores que inciden en el incipiente desarrollo de sistemas robóticos industriales con tecnología GENERIC MOTION CONTROL y POWERLINK en la manipulación de procesos industriales y tareas programadas?

### **Sistematización**

- ¿Qué tecnologías existen en la actualidad para la manipulación de procesos industriales?
- ¿Qué ventajas se obtiene al utilizar el protocolo de comunicación POWERLINK?
- ¿Qué variables se pueden controlar en un proceso de automatización con la tecnología GENERIC MOTION CONTROL?
- ¿Qué aporta utilizar la tecnología GENERIC MOTION CONTROL en un sistema de robótica industrial?

## **Justificación del trabajo de grado**

### **Justificación teórica**

CAE SOLUTIONS EC es una empresa que trabaja con las marcas B&R, MOLDEX 3D, SPAN S.L y para poder demostrar la alta tecnología de sus productos se ve en la necesidad de implementar sobre un robot industrial de configuración cartesiana la tecnología GENERIC MOTION CONTROL y POWERLINK.

El prototipo controlará sus movimientos con servomotores y servo drivers de la marca B&R, contará con sensores para la manipulación de las piezas; es un autómatas programable que incluye visualización que se comunica a través de protocolos basados en Ethernet industrial (POWERLINK), éste ofrece un rendimiento sin restricciones y altas capacidades con relación al tiempo en el cual se desempeña, posee una velocidad de transmisión de 100 Mbit/s y sincronización de +/- 100 ns (nanosegundos), característica principal con el cual se accede a combinar en una sola red incluso las tareas más exigentes de los ámbitos de ingeniería de control de precisión.

La independencia brindada por la topología POWERLINK también permite a los usuarios reducir los costes de cableado estructural, teniendo un acoplamiento óptimo al diseño de la máquina. POWERLINK es una topología de comunicación abierta y definida en todo el mundo como estándar IEC.

Gran cantidad de fabricantes de tecnología para el control, robótica, sensor, neumática, visión y movimiento entregan su confianza en POWERLINK, POWERLINK contiene estándares de seguridad abierto para la conexión de tecnología de seguridad integrada, cumpliendo con la Normativa IEC61508. Esto aumenta el rendimiento de la máquina y el sistema y reduce el tiempo de inactividad.

Se utilizará en el control de los servomotores y del actuador la tecnología de GENERIC MOTION CONTROL (GMC) que permite la optimización de tiempos en procesos industriales. Una de las características que convierten a GMC en una plataforma única es que se puede manejar para todo tipo de accionamientos mecánicos, hidráulicos hasta servo tecnología. GMC se integra con facilidad y de forma precisa en la aplicación de la máquina, con lo cual se accede a personalizarla para la tarea específica.

Los componentes del GMC forman un núcleo fundamental de muchas aplicaciones en un gran número con diferentes aplicaciones en sectores distintos. Especialmente en el sector de máquina herramienta hay diversas funciones estándar que pueden encontrarse en cualquier máquina.

En esta área de la automatización es donde B&R ha dado un paso agigantado hacia los módulos de software estandarizados. En concreto, el desarrollo de un paquete de CNC estándar reduce considerablemente el tiempo de puesta en marcha para soluciones personalizadas de máquina herramienta. El paquete de la librería estándar de CNC incluye tanto el hardware como las funciones necesarias de software para operar una máquina típica de este tipo de configuración.

### **Justificación aplicativa**

Debido al incipiente desarrollo de la robótica en la industria ecuatoriana el presente trabajo de titulación servirá directamente para demostrar las ventajas y eficiencia en tiempos de ejecución de tareas en la manipulación de procesos industriales al utilizar protocolos industriales de comunicación como POWERLINK y tecnología de control como GENERIC MOTION CONTROL en autómatas con configuración cartesiana, que son importados y de ésta forma contribuir en la transformación de la matriz productiva elaborando y ensamblando este tipo de robots con ésta tecnología a nivel nacional, además de realizar su aporte de innovación tecnológica en los sistemas de envasadoras, inyección de plástico, control de calidad, paletizado, etc.

### **Objetivos**

#### **Objetivo general.**

Implementar la tecnología MOTION CONTROL y POWERLINK sobre un robot industrial de configuración cartesiana para la empresa CAE SOLUTIONS EC.

#### **Objetivos específicos.**

- Diseñar e implementar el sistema mecánico y de potencia de un robot con configuración cartesiana.
- Implementar la tecnología MOTION CONTROL y POWERLINK en el robot cartesiano.
- Diseñar un protocolo experimental de pruebas con MOTION CONTROL.
- Documentar resultados, elaborar el escrito y manuales de uso.

## CAPITULO I

### 1. MARCO REFERENCIAL

#### 1.1. Antecedentes

En una revisión a la historia, los seres humanos tienen la necesidad de descubrir grandes incógnitas que genera el mundo diverso y más con las máquinas que imitan las funciones del ser vivo. Los griegos lo definieron a estas máquinas “automatos”. De esta palabra nace autómeta<sup>1</sup>. Los animados mecanismos de Herón de Alejandría en 85 después de cristo se movían mediante dispositivos hidráulicos, poleas y componentes mecánicos los cuales tenían fines lúdicos.

Los árabes son los que divulgaron los conocimientos elaborados por los griegos para darle uso no a la diversión si no para el uso de la realeza, como dispensadores de agua y pese a que no se propagó la información de algunos se hace mención al hombre de hierro de Alberto Magno (1204-1282) la cabeza parlante de Roger Bacon (1214-1294) El gallo de Estrasburgo (1352) el cual formaba parte de la catedral de Estrasburgo el cual movía las alas y el pico con el avance de las horas. Luego de mucho tiempo se da a conocer el león mecánico de Leonardo da Vinci (1452-1519) y otros robots emblemáticos que fueron la base a inventos para la automatización industrial. (Barrientos .A, Peñin L.P.,Balaguer.C.V, 1997, p.3).

El primer punto donde se debe partir es que la automatización industrial se originó en la revolución industrial basados en algunos condicionantes como son los autómetas y su evolución de máquinas simples en donde se ocupaban tarjetas perforadas para el control de telares a robots funcionales capaces de mejorar su proceso asignado, en la actualidad se las han remplazado por los medios magnéticos y ópticos para control de información, aunque dispositivos de acumulación como los CD-ROM, se basan en un método de guardado similar al de las tarjetas perforadas, pero por supuesto la dimensión, volumen y velocidades de acceso no tiene comparación con las viejas tarjetas perforadas.

Hoy en día en la Automatización Industrial podríamos decir que remplazan los PLC<sup>2</sup>, a medida que avanza en el tiempo la innovación tecnológica crece a pasos agigantados, la mayoría de ellas son aplicadas en la Automatización Industrial. Mecánica, Electricidad, Electrónica, Sistemas,

---

AUTÓMETA: Máquina que imita la figura y movimientos de un ser animado.

PLC: controlador lógico programable ocupado en las industrias para automatizar procesos contiene entrada y salida de señales.

Neumática, Hidráulica, Instrumentación, que han sido el pilar fundamental para mejoras a la productividad y eficiencia de los procesos industriales, además la comunicación entre todos los componentes que conforman la máquina denominado como Bus de campo mejoran sus tiempos de respuestas, y por otro lado elementos como Servomotores, Cámaras de Visión Artificial, Robótica se imponen cada vez más en el ámbito Industrial, la inventiva del ser Humano parece ser ilimitada, cada día seguimos descubriendo y realizando nuevos inventos, para la mejora en disminución de esfuerzos.

B&R es una empresa dedicada a la innovación en automatización, sus productos son de nivel industrial y es el proveedor principal de CAESOLUTIONSEC empresa que se dedica a la innovación tecnológica cuyo fin es incentivar la construcción de robots que faciliten los procesos a nivel industrial y cubrir la demanda de éstos, colaborando con el aumento a la matriz productiva. Algunos de los productos con los cuales se elaboró el robot cartesiano se muestran en la Figura 1-1 y la Figura 2-1.



**Figura 0-1** Productos B&R

Fuente: <http://www.br-automation.com/es/productos/accesorios/>



**Figura 2-1** Panel Pc.

Fuente: <http://www.br-automation.com/es/productos/accesorios/>

## 1.2. Estado del Arte

**Controladores:** Un controlador lógico programable, conocido como PLC, es un ordenador compacto utilizado en la ingeniería en instrumentación y automatización industrial, para automatizar procesos eléctricos, electrónicos y mecánicos, tales como el control de la maquinaria en líneas de montaje, así como también en procesos síncronos.

Los PLC's son ocupados en varias industrias y máquinas. A diferencia de los ordenadores de propósito general, el PLC está diseñado para transmitir múltiples señales de entrada y de salida, interpretación en rangos de temperatura amplificados, un grado de protección alto contra el ruido y las vibraciones generadas por el ruido eléctrico.

Los códigos de programación para el control de funcionamiento de la máquina se suelen guardar en baterías una copia de seguridad en memorias no volátiles. Un PLC es un sistema de ejecución en tiempo real, donde los resultados de salida son interpretaciones a los valores de entrada dentro de un tiempo limitado, de lo contrario no producirá el resultado deseado previamente configurado.

Una de las empresas que se encarga de perfeccionar la automatización es B&R que contiene una gran gama de controladores, ordenadores que su tiempo de respuesta es el idóneo para el nivel industrial en donde la precisión juega un papel fundamental. Los productos de esta marca mejoran la eficiencia de máquinas y sistemas mediante la combinación de CNC<sup>3</sup>, robótica y control de movimiento en una sola plataforma de software denominada Generic Motion Control (GMC). GMC al ser flexible permite una fácil integración de los lenguajes de programación en CNC y robótica existentes para su fácil implementación.

**Comunicación:** Dentro de los métodos de transmisión los buses de campo tradicionales permitían combinar productos de sistemas de automatización de distintos fabricantes basándose en la topología estandarizada (Ethernet), pese a eso, los límites de operatividad a menudo obligaban a ocupar diferentes sistemas de bus de campo para diversas tareas de automatización; es así que aparece la necesidad de crear un bus de campo que lo denominan POWERLINK el cual aporta grandes mejoras en la solución de sistemas de control integrado.

B&R como fabricante del protocolo de comunicación ETHERNET POWERLINK, facilita sus franquicias a nivel mundial para ejecución de procesos de automatización industrial; el principal

---

CNC: control numérico por computadora permite el control en todo momento de la posición de un elemento físico en el espacio de trabajo del efector final en un robot.

distribuidor autorizado en Ecuador de B&R es CAE SOLUTIONS EC que ejecuta sus proyectos a nivel industrial y realiza la comunicación industrial con este tipo de tecnología.

Los futuros clientes pueden enfocarse en sus correspondientes tareas de diseño de cualesquier máquina y creación de una solución en un proceso de automatización sin tener que preocuparse por el bus de campo para su comunicación. POWERLINK ofrece el alto beneficio necesario como base para futuras innovaciones tecnológicas y conceptos de máquinas modulares completas.

**Estructura Robótica:** Entre los robots considerados de más utilidad en la actualidad se encuentran los robots industriales o manipuladores, la IFR<sup>4</sup>, distingue entre robot industrial de manipulación y otros robots:

*“...Por robot industrial de manipulación se entiende una máquina de manipulación automática, reprogramable y multifuncional con tres o más ejes que pueden posicionar y orientar materias, piezas, herramientas o dispositivos especiales para la ejecución de trabajos diversos en las diferentes etapas de la producción industrial, ya sea en una posición fija o en movimiento...”*

(Barrientos, et al,1997, p.10)

En esta definición se debe entender que la multifunción y lo reprogramable se consiguen sin modificaciones mecánicas del robot. Según la geometría de la estructura mecánica, un robot industrial puede ser Cartesiano, cuyo posicionamiento en el espacio se lleva a cabo mediante articulaciones lineales.

Un robot de coordenadas cartesianas o robot cartesiano de configuración tipo cantiléver, es un robot industrial en el que sus tres ejes principales forman ángulos rectos unos respecto a otros, es decir se mueven en línea recta en lugar de rotar, simplificando las ecuaciones que determina el movimiento; la configuración mecánica de formación de ángulos rectos además de otras características simplifica las ecuaciones en el control de los brazos robóticos o en este caso de sus ejes lineales.

El robot cartesiano es ocupado en funciones de “pick and place<sup>5</sup>” (tomar y colocar), aplicación de impermeabilizantes, trabajo de ensamblado, control de máquinas, equipos y soldadura por arco.

---

IFR (International Federation of Robotics) Federación Internacional de Robótica.

PICK AND PLACE: Proceso de tomar y colocar terminología ocupado en el campo industrial para determinar un proceso de movimiento de un lugar a otro.

Herrera, V. y Sánchez, N. en su tema de tesis: “Diseño y construcción de un prototipo robótico con arquitectura cartesiana dotado de visión artificial para el paletizado de cajas”, concluyen que:

*“...Para la construcción de un prototipo robótico resulta conveniente realizar un diseño empleando software CAD<sup>6</sup> para establecer las dimensiones de cada una de las partes del mismo asegurando que éstas encajen correctamente al momento de ensamblar el prototipo...”*. (Herrera, y Sánchez, 2006., Pp. 125).

Los robots cartesianos de tipo pórtico poseen ventajas como la estabilidad, movilidad, características que se requieren para tareas de paletizado de cajas donde se manejan grandes cargas, además que por su control más simple permite programar tareas de tipo repetitivas de forma rápida. (Herrera, y Sánchez, 2006., Pp. 126).

*“...El uso de motores paso a paso para aplicaciones robóticas disminuye la complejidad del sistema de control ya que se puede hacer un control en lazo abierto, pero se corre el riesgo de perder la posición exacta del robot cuando existen perturbaciones en el medio de trabajo que alteren la posición del mismo...”*. (Herrera, y Sánchez, 2006., Pp. 126).

Pacheco, M. y Jara, M. en su tema de tesis: “Diseño e implementación de un robot cartesiano, para el montaje de tapa y/o pasador, en el proceso de paletizado”, concluyen que:

*“...Para la construcción de la estructura de un robot resulta conveniente en primera instancia realizar un diseño utilizando un software ya sea Solidworks o Autocad para establecer las dimensiones de cada una de las partes del mismo asegurándose que estas encajen perfectamente al momento del ensamblaje...”*. (Jara & Pacheco, 2013, pp. 145-150)

Estos proyectos utilizan tecnología PLC y se ve enfocado más al conocimiento ya que es un material didáctico en el laboratorio para uso de los estudiantes que les permite poner en práctica los conocimientos de automatización. Por lo tanto, en la implementación del proyecto se tomó en cuenta éstas conclusiones, además se indica que en ninguna de éstas tesis contiene tecnología industrial al nivel del que se aplicó.

La automatización industrial está centralizada por períodos de innovación tecnológica permanentes. Esto se debe a las diferentes inventivas de automatización que además están muy ligadas a los sucesos de cambios de economía a nivel mundial.

---

CAD: Es Diseño asistido por computadora con ello se pueden elaborar piezas en 2D y 3D

YUDO Co. Ltd., empresa establecida en 1980, con su oficina principal ubicada en Japón, que cuenta con la especialidad en la fabricación de sistema de canal caliente y extracción de plástico tiene una gama de robots de configuración cartesiana que son ocupados para este tipo de procesos utilizando equipos de la marca B&R, en la figura 3-1 se muestra un ejemplar de este tipo de robot fabricados por la empresa YUDO Co. Ltd.



**Figura 3-1** Productos de YUDO Co. Ltd.

Fuente: <http://www.yudo.com/EN/business/productDetail.do?id=391>

Tiene varias franquicias en diferentes partes del mundo y en Sudamérica solo Brasil y contiene gran cantidad de elementos y diversos tipos de robots para diferentes actividades, es por eso que se ve la necesidad de implementar este tipo de tecnología robusta para aumentar los índices de producción (tiempos de ejecución de procesos) y disminuir la importación de equipos ensamblados que podrían ser diseñados y elaborados con mano de obra ecuatoriana.

En Ecuador CAE SOLUTIONS EC es una empresa que nace en base a la necesidad de establecer y mejorar prácticas recomendadas de ingeniería, impulsando el desarrollo tecnológico del país, otorgando las mejores herramientas y equipos de ingeniería del mercado mundial, es una empresa innovadora que brinda soluciones industriales con el mejor soporte técnico en base a fundamentos teóricos y científicos, se encuentra ubicada en la Av. América N34-437 y Veracruz, Ed. Játiva Of 1, en la ciudad de Quito.

Actualmente la empresa tiene la necesidad de diseñar y construir un robot industrial implementando la tecnología GENERIC MOTION CONTROL y POWERLINK para poder manifestar que se puede mejorar los tiempos de ejecución en los procesos industriales con las variables propias de la librería.

Tinajero, J. en su tema de tesis: “Evaluación de la eficiencia de los controladores Arduino<sup>7</sup> Mega y Siemens Logo 230RC en procesos industriales”, concluye que:

---

ARDUINO: Es un hardware libre el cual se puede realizar proyectos electrónicos a todo nivel además contiene grandes complementos que permiten comunicar varios sistemas.

*“...La tarjeta Arduino Mega es capaz de trabajar de la misma manera que un PLC Siemens LOGO 230RC, en un ambiente industrial donde el dispositivo se encuentra expuesto a ruido, interferencias electromagnéticas, polvo y golpes...”*. (Tinajero, 2013, Pp. 160).

Tomando en cuenta este procedimiento se realizará el montaje de la tecnología propuesta GMC más POWERLINK, con la cual se procederá a determinar la potencialidad de ocupar esta librería y protocolo de comunicación industrial.

### **El robot industrial**

Un robot industrial de configuración cartesiana de tipo cantiléver es capaz de modificar su tarea a realizar sustituyendo el funcionamiento de muchas máquinas secuenciales. Esto enfoca a los robots como la principal solución para el cambiante y exigente mundo de la automatización industrial.

El robot industrial está conformado de una estructura mecánica articulada y de un sistema eléctrico-electrónico de control en el que se adiciona un ordenador. Esto permite la elaboración de códigos de programación para el control de los movimientos a efectuar por el robot y la repetitividad de secuencias que se realizan en un trabajo sin efectuar grandes cambios en el robot, haciendo que un robot contenga una gran flexibilidad y posibilita su adaptación a muy diversas áreas y medios de trabajo.

Un robot industrial se diseña en función de múltiples movimientos que debe poder realizar; teniendo en cuenta que lo que importa son sus GDL<sup>8</sup>, su área de trabajo, su comportamiento estático y dinámico y su material de construcción.

*“...El robot industrial tiene la capacidad para reprogramar su ciclo de trabajo, además de la versatilidad y variedad de sus efectores finales (pinzas, garras, herramientas, etc.), le permite adaptarse fácilmente a la evolución o cambio de los procesos de producción, proporcionando su reconversión...”*. (González & Espina, 2001).

El robot industrial nace de la unión de una estructura mecánica articulada y de un sistema electrónico de control en el que se integra una computadora. Esto permite la programación y control de los movimientos a efectuar por el robot y la memorización de las diversas secuencias

---

GDL: Grados de libertad son el número de mínimo de movimientos para definir un estado cinemático en un mecanismo o estructura mecánica.

de trabajo, por lo que le da al robot una gran flexibilidad y posibilita su adaptación a muy diversas tareas y medios de trabajo.

El robot industrial es pues un dispositivo multifuncional, es decir, apto para muy diversas aplicaciones, al contrario de la máquina automática clásica, fabricada para realizar de forma repetitiva un tipo determinado de operaciones. El robot industrial se diseña en función de diversos movimientos que debe poder ejecutar; es decir, lo que importa son sus grados de libertad, su campo de trabajo, su comportamiento estático y dinámico.

La capacidad del robot industrial para reconfigurar su ciclo de trabajo, unida a la versatilidad y variedad de sus elementos terminales (pinzas, garras, herramientas, etc.), le permite adaptarse fácilmente a la evolución o cambio de los procesos de producción, facilitando su reconversión. Los robots industriales están disponibles en una amplia gama de tamaños, formas y configuraciones físicas. La gran mayoría de los robots comercialmente disponibles en la actualidad tienen una de estas cuatro configuraciones básicas:

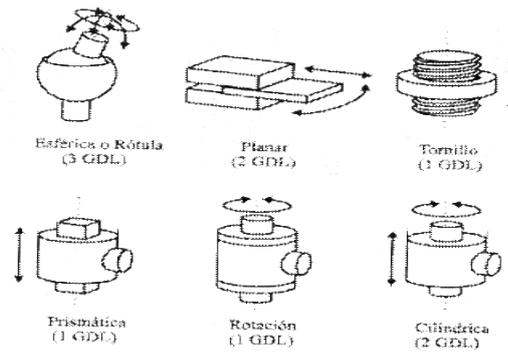
- Configuración polar.
- Configuración cilíndrica.
- Configuración de coordenadas cartesianas.
- Configuración de brazo articulado.

### **1.3. Morfología de los robots**

Un robot se compone de elementos principales como es la estructura mecánica, transmisiones, sistemas de accionamiento, sistema sensorial, sistema de control y elementos terminales.

La estructura mecánica es la conformación de los eslabones que están unidos mediante las articulaciones con las cuales se pretende generar movimiento. Cada uno de estos originan movimiento independiente uno del otro generando un grado de libertad.

En la Figura 4-1 se muestra los distintos tipos de articulaciones que existen.



**Figura 4-1** Tipos de articulaciones para robots

Fuente: [http://www.pagines.fib.upc.es/~rob/protegit/treballs/Q2\\_03-04/rob\\_ia2/articulaciones.JPG](http://www.pagines.fib.upc.es/~rob/protegit/treballs/Q2_03-04/rob_ia2/articulaciones.JPG)

El número de grados de libertad de un robot dependerá del número de articulaciones que se diseñe.

### ***1.3.1. Configuraciones básicas***

Existen robots industriales disponibles en una amplia y variada gama de tamaños, formas y configuraciones físicas (tipo de material el cual fue elaborado, programación, sistemas de comunicación, etc.). En la gran mayoría de los robots comercialmente disponibles y fabricados en la actualidad tienen una de estas cuatro características simples; estas estructuras tienen diferentes propiedades en cuanto a espacio de trabajo y accesibilidad a posiciones determinadas.

### ***1.3.2. Configuración polar***

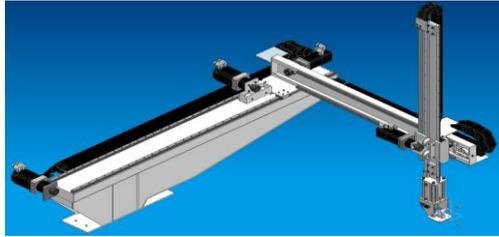
Esta configuración utiliza coordenadas polares como principal herramienta de posición en términos de una rotación sobre su propia base, una extensión lineal y un ángulo de elevación del brazo, obteniendo un área de trabajo en forma esférica.

### ***1.3.3. Configuración cilíndrica***

La característica principal de esta configuración es que sustituye un movimiento lineal por uno rotacional sobre su misma base, con lo que se obtiene un área de trabajo cilíndrica.

### ***1.3.4. Configuración de coordenadas cartesianas***

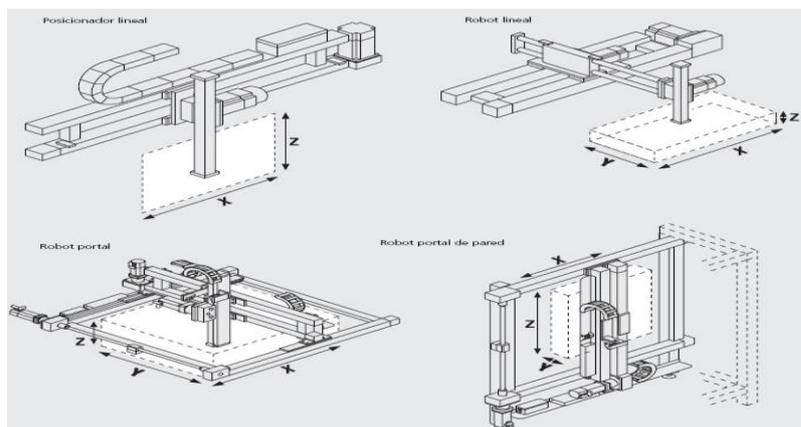
La característica principal de esta configuración es que, posee tres movimientos lineales, su nombre hace referencia a las coordenadas cartesianas, las cuales son idóneas para describir la posición y movimiento del brazo. En su gran mayoría los robots cartesianos reciben el nombre de XYZ, donde las letras representan a los tres ejes donde se generan el movimiento. En la Figura 5-1 se muestra el modelo de robot cartesiano diseñado en Ecuador.



**Figura 5-1** Robot de configuración cartesiana  
Realizado por: Salazar Mónica, Urbano Christian

Dentro de las distintas opciones de implementación de un manipulador robótico cartesiano, se toman en cuenta aspectos como la función a realizar y el espacio de trabajo disponible; según la empresa Schneider Electric, clasifica los robots cartesianos en cuatro tipos, indicados en la Figura 6-1; y sus opciones de implementación son:

- ✓ Posicionador Lineal: Ubicado por encima o bajo el área de trabajo; el cual opera en dirección  $x/z$  (2D); diseñado para transportar cargas a grandes distancias.
- ✓ Robot Lineal: Posicionado junto al área de trabajo y diseñado para manipular objetos a gran velocidad en trayectorias cortas.
- ✓ Robot Portal: Situado sobre el área de trabajo y es factible su uso cuando de ahorrar espacio se trata; puede transportar cargas en trayectorias de largo recorrido.
- ✓ Robot Portal de Pared: Diseñado para operar en superficies verticales, con un funcionamiento similar al robot portal. ( Instituto Schneider Electric de Formación, 2008)



**Figura 6-1** Configuraciones de robot cartesianos

Fuente: [http://www.equiposdidacticos.com/img/desarrollos/MESAXY\\_WEB.pdf](http://www.equiposdidacticos.com/img/desarrollos/MESAXY_WEB.pdf)

### 1.3.5. Configuración de brazo articulado

“...Esta configuración, utiliza únicamente articulaciones rotacionales para ubicarse en cualquier posición y es por esto que es el que más se acopla a un sistema... (Gonzales, 2003)

## **1.4. Clasificación de robots basados en generaciones de sistemas de control**

### ***1.4.1. La primera generación***

Los sistemas de primera generación (sistemas del todo o nada) estuvieron basados en las denominadas operaciones limitadas u operaciones de lazo abierto controlado de forma mecánica.

### ***1.4.2. La segunda generación***

La segunda generación ocupa estructuras de control de ciclo abierto, pero utiliza una secuencia numérica de control de movimientos almacenados en un disco o cinta magnética. El programa de control ejecuta la elección de secuencias de movimiento en una caja mecánica con la que se da paso con los movimientos de recorrido o secuencia deseada.

### ***1.4.3. La tercera generación***

La tercera generación de robots se ejecuta con computadoras para el control y tiene algún conocimiento de su ambiente a través de sensores, los cuales miden el entorno con sus sensores para ejecutar una acción, con esta generación se da paso a la era de los robots inteligentes y se generan los lenguajes de programación con los cuales se diseñan los programas de control. Dando paso a la estructura de “lazo cerrado”.

### ***1.4.4. La cuarta generación***

En la cuarta generación de robots, ya es de robots inteligentes con mejores y mayores extensiones sensoriales, para comprender sus acciones y su entorno que los rodea.

Incorpora una estructura de “modelo del mundo” de su propio entorno y comportamiento del ambiente en el que se desarrollan. Manejan lógica de conocimiento difuso y procesamiento dirigido por expectativas generadas por los sensores que contienen registrando los efectos de sus acciones en un modelo del mundo y un modelo de compensación en la determinación de tareas y metas.

### ***1.4.5. La quinta generación.***

*“...Actualmente esta nueva generación de robots está en continuo desarrollo, pretende que la estructura de control se desarrolle con la adecuada organización y distribución de módulos. Se puede mencionar un robot de quinta generación a aquel que tiene la capacidad de responder a*

*la luz, al tacto y al sonido ocupado en diferentes ambientes y con retroalimentación... ”. (González & Espina, 2001).*

## **1.5. Arquitecturas de los robots**

Es definida por el tipo de configuración global del robot, puede ser metamórfica. La definición cambiante de metamorfismo que ha ido evolucionando con la industria, se ha introducido para incrementar la maleabilidad estructural y funcional de un robot a través del cambio de su configuración o reconfiguración. La evolución o transformación estructural admite la existencia de diversos niveles, desde los más básicos (cambio efector terminal), hasta los más complejos como el cambio o modificación de algunos de sus elementos o subsistemas estructurales.

Los dispositivos, mecanismos y sistemas pueden acoplarse bajo la interpretación del estándar que presenta el robot, tal cual como se permitan interpretarlos, son muy variados y por tanto establecer una clasificación coherente de los mismos que con un análisis crítico y específico presenta algunas dificultades. Dando como resultado una subdivisión de los robots clasificados de acuerdo a su arquitectura, y son:

### **1.5.1. Poliarticulados**

*“... Bajo este grupo están los robots denominados sedentarios (aunque dentro de sus excepciones pueden ser guiados para efectuar desplazamientos estrictamente limitados) su estructura permite mover sus elementos terminales en un determinado espacio de trabajo con uno o más sistemas de coordenadas y con un número limitado de grados de libertad. Dentro de este grupo se encuentran los robots cartesianos, los manipuladores y muchos robots industriales, se emplean cuando es preciso abarcar una zona de trabajo relativamente amplia o alargada... ”. (Jara & Pacheco, 2013, pp. 25-26).*

### **1.5.2. Móviles**

Son robots de gran capacidad de desplazamiento, basados en autos o diversas plataformas, dotadas de un sistema locomotor de tipo radial. Su trayectoria se da mediante telemando o guiándose por la información recibida de su ambiente a través de sus sensores ubicados en su estructura.

*“... Los sistemas de locomotor tipo radial, son la solución más simple y eficiente para conseguir la movilidad; sin embargo, cabe mencionar que también existe la locomoción mediante patas que permite esquivar obstáculos con mayor facilidad con la dificultad de requerir mecanismos de mayor complejidad y consumo de energía con respecto a los robots móviles rodantes, guiados*

*mediante pistas materializadas, radiación electromagnética de circuitos empotrados en el suelo, o a través de bandas detectadas fotoeléctricamente, pueden incluso llegar a esquivar obstáculos y están dotados de un nivel relativamente elevado de inteligencia....”*. (Jara & Pacheco, 2013, pp. 25-26).

### **1.5.3. Androides**

Son robots que intentan simular de forma parcial el comportamiento cinemático del ser humano. Actualmente los androides son todavía dispositivos muy poco desarrollados, con poca utilidad práctica, y destinados, fundamentalmente, al estudio y experimentación.

Una complejidad de estos robots, y sobre el que se centra la mayoría de los trabajos, es la locomoción bípeda. En este caso, el principal inconveniente es controlar la dinámica y coordinadamente en el tiempo real el proceso, además de mantener el equilibrio del robot.

### **1.5.4. Zoomórficos**

Los robots zoomórficos, considerados no restrictivo caracterizada principalmente por sus sistemas de locomoción que imitan a los diversos seres vivos como animales e insectos. En esta categoría también se le puede incluir al tipo androide, a pesar de la disparidad morfológica de sus posibles sistemas de locomoción es conveniente agrupar a los robots zoomórficos en dos categorías principales: caminadores y no caminadores.

El robot zoomórfico no caminador está muy poco evolucionado su característica principal es que contienen un movimiento relativo de rotación. En cambio, los robots zoomórficos caminadores multípedos son muy evolucionados estos están siendo fabricados en diferentes laboratorios por su alta gama de adaptabilidad a su entorno por esa razón se los denomina a “todo terreno”.

### **1.5.5. Híbridos**

*“...Estos robots corresponden a los de difícil clasificación cuya estructura se sitúa en combinación con alguna (dos o más) estructura de los grupos especificados con anterioridad, bien sea por conjunción (varias estructuras enlazadas, articulado con ruedas) o por yuxtaposición (estructuras sobrepuestas) ...”*. (Jara & Pacheco, 2013, pp. 25-26).

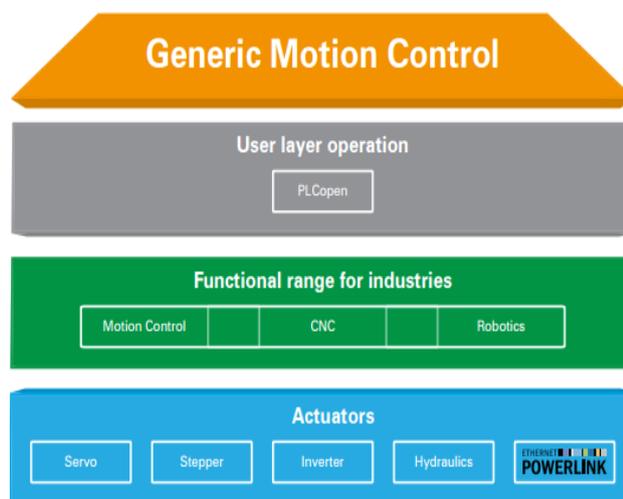
## 1.6. Campos de aplicación

El robot industrial es parte del progresivo desarrollo de la automatización industrial, favorecido por el avance de las técnicas de control por computadora, contribuye de manera directa a la automatización en los procesos de fabricación serial de mediana y pequeña escala.

La fabricación en series pequeñas había quedado fuera de la automatización industrial hasta que el robot, como manipulador reprogramable y multifuncional, puede trabajar de forma continua y con flexibilidad cubrió estos estándares. (González & Espina, 2001).

## 1.7. Generic Motion Control

Es una nueva orientación de programación de un controlador, en la Figura 7-1 se muestra la configuración global y funcionalidades de la librería.



**Figura 7-1** Combinación de funcionalidades presentado por GMC.

Fuente: [http://exposant.technotheque.fr/files/docs/generic-motion-control\\_1322493130.pdf](http://exposant.technotheque.fr/files/docs/generic-motion-control_1322493130.pdf)

La integración de las funciones continuas a la tecnología genera un cambio en el límite entre las tareas de control clásico, por un lado y control de trayectoria en el otro. La funcionalidad del intérprete integrado de GMC se ha ampliado para enfrentar a estos desafíos.

### ✓ El intercambio de datos de forma fácil

El intercambio de datos es esencial, ya sea entre las funciones de la tecnología a nivel de PLC o del movimiento y la ruta de control.

### ✓ Fácil configuración

El intérprete GMC ofrece acceso completo a las variables del PLC, tipos de datos y funciones. La configuración es tan fácil como cargar los ficheros de declaración respectivas del proyecto de Automation Studio.

Las definiciones pueden ser utilizadas en todos los programas cargados en el intérprete, así como las funciones incorporadas de las lenguas GMC previamente configurados.

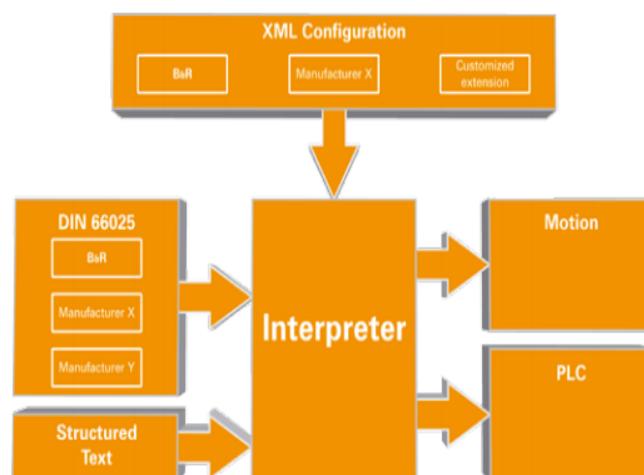
### ✓ Programación con estructuras

Definición de estructuras y su utilización para las variables en los programas de código G abre un amplio abanico de nuevas posibilidades para el diseño de programas de movimiento. Esto permite una organización mucho más clara de subprogramas.

Variables estructuradas que se generaron en un programa CNC se inicializan con los mismos valores del PLC utilizado, lo que permite una perfecta integración en el entorno PLC. (Bernecker + Rainer Industrie Elektronik GmbH, 2015, p. 98).

#### 1.7.1. GMC software

Bajo el régimen de IEC- ST: programación CNC / Robótica / PLC de una fuente, es una de las varias configuraciones con las cuales trabaja la librería, en la Figura 8-1 se detalla la interpretación de variables y la configuración de ciclo de desarrollo en una librería de Motion Control.



**Figura 8-1** Detalle de exterior de un GNC.

Fuente: [http://exposant.technotheque.fr/files/docs/generic-motion-control\\_1322493130.pdf](http://exposant.technotheque.fr/files/docs/generic-motion-control_1322493130.pdf)

Programación de un dispositivo de configuración cartesiana con código G tradicional o el uso de dialectos especiales para programar robots es una cosa del pasado los sistemas en esta librería ocupan diferentes tipos de lenguaje de programación para facilitar su control.

La configurable intérprete GMC también ofrece la posibilidad para procesar programas IEC-ST. Esto abre oportunidades sin precedentes para la programación CNC, robótica y el PLC. (Bernecker + Rainer Industrie Elektronik GmbH, 2015, p. 98)

#### ***1.7.1.1. Programas IEC-ST interpretados***

El idioma por defecto de la tecnología de automatización, IEC 61131 Texto estructurado (ST), se puede ahora también utilizar con el intérprete GMC. El intérprete ejecuta programas IEC-ST secuencialmente, en contraste con la ejecución cíclica de un programa tradicional PLC, que fue programado en una tarea estándar Automation Studio<sup>9</sup>.

Esto también elimina la limitación de tiempo estricto que normalmente deben tenerse en cuenta en todas las funciones. Consecutivos programas también son mucho más fáciles de diseñar, leer y mantener. Programas procesados por el intérprete GMC corresponden exactamente a las definiciones sintácticas de Automatización Studio y en última instancia se comportan de la misma manera. (Bernecker + Rainer Industrie Elektronik GmbH, 2015, p. 98).

#### ***1.7.2. Aplicación para interpretación ST:***

El control centralizado para la programación secuencial CNC son programas de movimiento complejo que contienen subprogramas con los bloques de funciones de PLC las cuales forman una integración de todas las bibliotecas del PLC para el funcionamiento de la interfaz HMI.

Funciones de depuración del PLC utilizando el intérprete Monitoreo y diagnóstico

La gama completa de funciones de supervisión y diagnóstico está disponible para CNC, así como Programas ST. Esto incluye funciones como paso en: los puntos de interrupción, prueba de variables, variables set y variable de reloj entre otros. Soporte para la sintaxis IEC-ST en el intérprete abre posibilidades imprevistas para el diseño de uniforme de los programas de CNC, robótica y PLC. (Bernecker + Rainer Industrie Elektronik GmbH, 2015, p. 98).

---

AUTOMATION STUDIO: Es el entorno de desarrollo de software integrado que contiene herramientas para todas las fases de un proyecto para productos de B&R.

### ***1.7.3. Fuerte Tipificación***

La introducción de la norma IEC-ST también trae soporte para "fuerte tipificación". Esto significa que la consistencia de los tipos de datos es probada estrictamente para parámetros de asignación y transferencia.

Los objetivos de esto es evitar cualquier error de conversión potenciales o imprecisiones antes de que sucedan. Problemas potenciales son identificados e informados cuando se carga un programa.

En el pasado, mecanografía débil se utilizó para programas de texto estructurado, que también permite la conversión de tipos implícita entre diferentes tipos de datos.

La mezcla perfecta, programas IEC-ST<sup>10</sup> y CNC son capaces de ejecutar el uno al otro. Esto introduce nuevas posibilidades, como la implementación de programas de lógica de programación en ST y procesamiento en CNC G-Code clásico.

Las características especiales de interpretación para ST son para llevar a cabo las funciones de tecnología de la mejor manera posible, el intérprete GMC también contiene algo de características avanzadas de los programas de IEC-ST, como procesamiento síncrono de funciones y bloques de función y de registro de datos para los programas de restauración (reinicio). El intérprete especifica los atributos en las declaraciones IEC que permiten determinar software de validez, sincronización de ruta, etc. (Bernecker + Rainer Industrie Elektronik GmbH, 2015, p. 99).

Dentro de los beneficios que se encuentra al ocupar este tipo de librería se tiene tiempos muertos y tiempos de ciclo más cortos o cada vez más precisa de la demanda, cumpliendo especificaciones de dosificación y reacciones cada vez más rápidas en función de posiciones de los ejes específicos.

Nuevos bloques de esta función se encuentran disponibles para precisar aplicaciones, que se integran a la perfección en la solución de automatización de B & R. El uso de software estándar, hardware estándar y una única herramienta de ingeniería elimina la necesidad de controladores independientes y la conexión por separado de controladores de secuenciador.

Hay tres formas de procesar aún más la señal digital:

---

IEC-ST: Forma parte de la tercera de ocho estándares 61131-3 de programación de texto estructurado para controladores programables elaborados en 1993 y publicados en 2013.

El estado se toma de una salida de bloque de función y simplemente ligado a un módulo de salida digital. (Bernecker + Rainer Industrie Elektronik GmbH, 2015, p. 95)

El estado se utiliza directamente en una unidad servo ACOPOS<sup>11</sup> o virtuales Eje ACP10SDC. La señal se emite directamente a través de un módulo plug-in en el ACOPOS servo accionamiento. Además, los retrasos de conmutación se compensan y una histéresis se define para los puntos de conmutación. (Bernecker + Rainer Industrie Elektronik GmbH, 2015, p. 95).

### 1.8. Comunicación POWERLINK

Para simplificar el desarrollo, el mantenimiento y la cadena de suministro, existe una fuerte demanda de la industria de la automatización estándar en casi todos los niveles de la comunicación de datos y la tecnología de procesamiento. Con la revolución de internet, la comunicación en red y los estándares de protocolo globalmente aceptados en el mundo de las TI<sup>12</sup> han llegado a un nivel de asequibilidad y solidez que los hacen atractivos también para las redes de comunicación en el sector de la automatización. En la Figura 9-1 se muestra el logo del protocolo de comunicación Powerlink. (Bernecker + Rainer Industrie Elektronik GmbH, 2015)



Figura 9-1 Logotipo de Ethernet Powerlink.

Fuente: <https://www.br-automation.com/es/productos/network-and-fieldbus-modules/powerlink/la-tecnologia-powerlink/>

Ethernet, es una reconocida tecnología en la actualidad, Ethernet y sus protocolos adicionales forman parte del conocimiento global. Las diferentes herramientas, programas y componentes disponibles también han contribuido significativamente a la reducción de costes.

Ethernet proporciona transparencia, los estándares de Ethernet fusionan los protocolos de transferencia de datos basados en IP protocolo de distintos propósitos. La integración de las TI y la automatización mediante el uso de Ethernet proporciona una verdadera interoperabilidad con la flexibilidad de internet. (Bernecker + Rainer Industrie Elektronik GmbH, 2015).

---

ACOPOS: Forman parte de la familia de servoaccionamiento representa un componente importante de las soluciones completas de automatización ofrecidas por B&R.

TI: son procesos en automatización que permiten eliminar algunos genéricos que son propensos al error mejorando los tiempos activos ahorrando los costes en cualesquier producción.

Ethernet, con capacidad en tiempo real, con <sup>13</sup>POWERLINK, ETHERNET llega hasta el nivel del sensor y el accionamiento, con tiempos de ciclo de subida a 200 microsegundos y una precisión de temporización dentro del orden de los microsegundos. (Bernecker + Rainer Industrie Elektronik GmbH, 2015).

El estándar Ethernet por sí sólo no puede gestionar la transferencia de datos en tiempo real. Pese a disponer de mecanismos como la priorización de tramas o los switches, tampoco se acerca al objetivo. En primer lugar, no satisface la flexibilidad necesaria para las topologías de red de automatización. En segundo lugar, la precisión en el tiempo depende demasiado de la carga de la red. Y, en tercer lugar, resulta muy complicado configurar y parametrizar las redes,

Por todo ello, varios grupos de la industria han introducido nuevos mecanismos para poder disponer de capacidad en tiempo real utilizando Ethernet. Entre ellos, se incluyen mecanismos de acceso no estándar sobre el medio físico usando tramas de Ethernet que deben descodificarse cíclicamente, utilizando componentes especiales. También incluyen el acortamiento no estándar de estas tramas para reducir todavía más los tiempos de transferencia. (Bernecker + Rainer Industrie Elektronik GmbH, 2015).

Sin embargo, POWERLINK se desarrolló para cumplir con la normativa aplicable. Como un estándar industrial abierto, Ethernet requiere mejoras en tiempo real sin derechos de propiedad. POWERLINK optimiza el estándar Ethernet IEEE 802.3 añadiendo un mecanismo de pregunta/respuesta garantizando una asignación de tiempos. Esto se traduce en:

Transferencia garantizada de los datos de tiempo crítico dentro de ciclos isócronos muy breves y precisos con temporización configurable.

Transmisión de datos menos críticos por un canal asíncrono reservado.

Las actuales implementaciones de POWERLINK alcanzan un tiempo de ciclo de 200 microsegundos con una desviación de tiempo (jitter<sup>14</sup>) inferior a 1 microsegundo. (Bernecker + Rainer Industrie Elektronik GmbH, 2015).

Puesto que cumple con la normativa, es posible utilizar chips Ethernet estándar, componentes de la propia infraestructura o equipos de medición y pruebas con POWERLINK. Todos los protocolos basados en IP<sup>15</sup> en capas superiores, como TCP, UDP, etc., pueden seguir utilizándose

---

POWERLINK: sistema de comunicación industrial basado en Ethernet ocupados a gran escala por la marca B&R.

JITTER: Es un transitorio en un ciclo de tiempo para el envío de señales además de ser la ligera desviación que existe en un determinado tiempo.

IP: Protocolo de Internet ocupados en comunicación de RED

sin modificaciones. En concreto, POWERLINK cumple con los siguientes estándares internacionales: (Bernecker + Rainer Industrie Elektronik GmbH, 2015).

- IEEE 802.3 Fast Ethernet
- IEC 61748-2
- IEC 61158
- Protocolos basados en IP (UDP, TCP, etc.)
- Perfiles de dispositivos estándar: de acuerdo con CANopen EN 50325-4
- Chips Ethernet estándar (no se requieren ASICs<sup>16</sup>)
- IEEE 1588 para sincronización con el dominio en tiempo real (futuras versiones) POWERLINK.

---

ASICs son chips conmutadores ocupados como centro de almacenamiento, alteraban las funciones del fabricante para acoplar los sistemas de comunicación.

## **CAPÍTULO II**

### **2. MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. Sistema de automatización industrial con autómatas**

La Automatización Industrial es un vocablo que se refiere al uso de sistemas o elementos computarizados para controlar procesos que contienen máquinas con fines de sustituir la mano de obra humana. Las primeras máquinas simples sustituían una forma de esfuerzo de distintas maneras para que sean controladas por el ser humano tal como levantar unos pesos extremadamente altos con un sistema de poleas o una palanca.

Hoy en día la automatización industrial va más allá de la mecanización antigua de procesos o reducciones de esfuerzos. La automatización con autómatas reduce ampliamente la necesidad sensorial e intelectual del humano, incluye los sensores y trasmisores de campo, sistemas de supervisión, sistemas de transmisión, recolección de datos y aplicaciones de software en tiempo real para supervisar a los autómatas que están encargados de procesos específicos a nivel industrial.

Existe una gran variedad de autómatas cíclicos para la manipulación de objetos de plástico de la misma forma para el ordenamiento, sus formas y funciones varían tanto como las necesidades que se requieran en un proceso.

Algunos robots son automáticos y otros manuales, muchos de éstos resultan ser mixtos acordes a la necesidad del proceso en el que se desempeñe. Algunos robots han adquirido una semejanza mucho más precisa al movimiento humano en el desarrollo de actividades puntuales con una mayor rapidez.

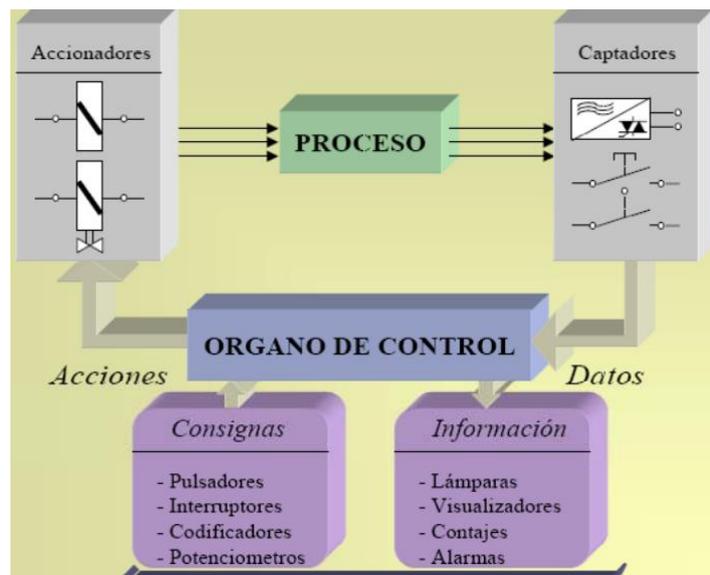
Existen brazos robóticos de base fija, otros con base móvil, cartesianos, cilíndricos, que trabajan en ambientes distintos realizando funciones específicas, la mayor parte son controlados por cables, sensores, motores; también tienen incrementado sensores de posicionamiento combinando dispositivos mecánicos, eléctricos y de aspecto anatómico.

## 2.2. Sistemas de automatización en CAESOLUTIONSEC

La empresa CAESOLUTIONSEC se dedica a dar soluciones de automatización con un conjunto de métodos y procedimientos para sustitución de operarios en tareas físicas y mentales previamente programadas con el fin de reducir costos de producción y aumentar la productividad de la empresa que solicite sus servicios. Dentro de estos protocolos de manejo incluyen la utilización de sistemas de nivel industrial como consolas y sistemas de B&R cumpliendo con normas internacionales de seguridad operacional dando prioridad a dar una solución automática a un proceso de producción con alto riesgo para los operarios.

Por proceso de producción, se concibe a cualquier parte de un sistema en que, a partir de la entrada de materia de energía e información se genera una transformación sujeta a revueltas del entorno, dando lugar a la salida de material en forma de producto. Siendo conocidos estos procesos industriales de la siguiente manera: Gráfico 1-2 muestra los elementos que intervienen en unos procesos de automatización.

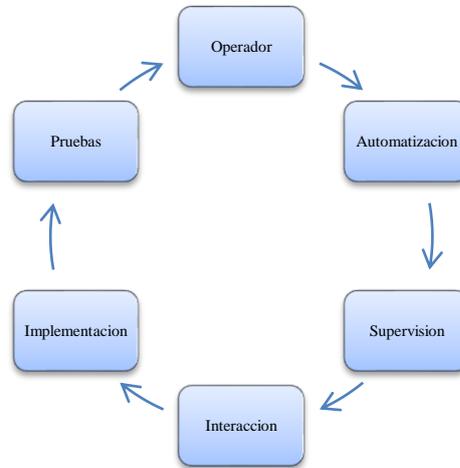
- Los procesos continuos se caracterizan por la salida del proceso en forma interrumpible continuo de material.
- Los procesos discretos contemplan la salida del proceso en forma de unidades o número finito de piezas.
- Los procesos batch son aquellos en los que la salida del proceso se lleva a cabo en forma de cantidades o por lotes de material.



**Gráfico 1-2** Elementos que intervienen en la automatización

Fuente: <http://www.avid-romangonzalez.com/Teaching/AUTOMATIZACION INDUSTRIAL.pdf>

Todo proyecto debe estar regido en el enfoque desde el punto de vista de un ingeniero o técnico del manejo de resolución a un problema de automatización, en el Grafico 2-2 se muestra las fases en un proceso de automatización.



**Gráfico 2-1** Fases de la automatización  
Realizado por: Salazar Mónica, Urbano Christian

### 2.3. Herramientas en el proceso de automatización

Dentro de los métodos que se ocupan en el proceso de automatización da como resultado diversas aplicaciones que aligera el esparcimiento y el enfoque que requiere la muy exigente industria. La tecnología de asistencia por computadora (CAx) sirve para la construcción de herramientas ocupando cálculo matemático para la elaboración de sistemas complejos que permitan el correcto funcionamiento. En este caso se ocupan el CAD<sup>17</sup>, CAM<sup>18</sup>, CAE<sup>19</sup> con la finalidad de crear productos basados CAx<sup>20</sup> los cuales representan un ahorro de tiempo y dinero en la construcción de prototipos que se ocuparan en la industria.

Los avances informáticos, en conjunto con los mecanismos y procesos industriales permiten que se realice un análisis del diseño previo a la implementación con el monitoreo del control básico como con el PLC que sincroniza el flujo de entrada de los sensores e interactúa con las salidas de actuadores y eventos. La interfaz que se puede generar como es la de hombre máquina HMI en donde no solo puede visualizar el estado actual si no también modificaciones críticas de un proceso.

---

CAD: Diseño asistido por computadora administra ciclos de vida de los productos en construcción.

CAM: fabricación asistida por computadora herramienta que actúa directamente en la manufactura de un producto.

CAE: ingeniería asistida por computadora Herramienta para el análisis y simular el comportamiento del producto previo a su construcción.

CAx: tecnología asistida por computadora. Herramienta para el diseño análisis y fabricación de productos.

Se determinan diferentes tipos de herramientas con las cuales se procede a realizar una automatización de un proceso y son:

- DCS distributed control system (Sistema de Control Distribuido)
- HMI human machine interface (Interfaz Hombre Máquina)
- SCADA supervisor control and data acquisitions (Adquisición de datos y supervisión de control)
- PLC programmable logical control (Controlador lógico programable)
- PAC programmable automation controller (Controlador automático programable)
- Instrumentation (Instrumentación)
- Control of movement (Control de movimiento)

#### **2.4. Técnicas empleadas en automatización**

Las técnicas empleadas en la automatización se clasifican en dos grandes grupos:

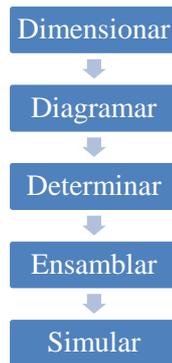
- Cableada
- Programada

La primera se realiza basado en uniones físicas de los elementos que conforman el control, este tipo de técnica ocupa demasiado espacio y es poco flexible a modificaciones por que se rige a una estructura mecánica y es difícil de mantener no es útil en aplicaciones complejas debido al número de componentes y la cantidad de cables que a su vez aumenta el costo.

La técnica programada es ocupada en la mayor parte de autómatas por las grandes ventajas que presenta frente a la técnica cableada ocupando sistemas de comunicación más robustos y minorando el costo de los mismos.

#### **2.5. Fases de diseño mecánico para construcción de prototipo**

Existen diferentes y complejos procesos de automatización que requieren la colaboración de diferentes departamentos de la empresa (gestión, logística, automatización, distribución etc.) en esta sección se enfoca el problema concreto en la parte de automatización, el diseño mecánico se ajusta a la parte más compleja del sistema y la más elaborada ya que aquí se determina el espacio que ocupará y debe cumplir las siguientes fases mostrada en el Grafico 3-2.



**Gráfico 3-2** Fases de la construcción mecánica

Fuente: Salazar Mónica, Urbano Christian

En el caso de llevar a la práctica nuevos proyectos debe ser necesario ejecutar las fases de metodología presentada, así como indicar el tipo de sistema y el programa en el cual se va a elaborar las piezas para previamente realizar el ensamble.

A este conjunto de fases la llamaremos “3DES” debido a sus siglas para la elaboración de un sistema mecánico.

### **2.5.1. Dimensionar**

Dentro del dimensionar contenemos todo el estudio de diagrama de cuerpos libres de los eslabones para determinar:

- Torque.
- Inercia
- Distancias, y
- El peso del material con el cual será elaborado el robot.

Con lo que permite elegir los motores, reductores, engranajes y esfuerzos necesarios para la elaboración del robot. Para este sistema se integra la aplicación de Catia V5 Y Adams software de estudio para el dimensionamiento de sistemas mecánicos que nos arrojarán valores que serán interpretados a lo largo del estudio del robot.

### **2.5.2. Diagramar**

En esta fase se realiza el sistema de elaboración de piezas con los planos estructurados en software, pasando de un sistema de dos a uno de tres dimensiones, en esta fase se determina el entorno en donde se desarrollará el robot.

### 2.5.3. *Determinar*

Dentro de esta fase se da paso a elegir el software en el cual se montará el diseño. CAESOLUTIONSEC maneja el SOLIDWORKS Catia V5 y todas las librerías de Msc ADAMS para el diseño de sólidos debido a tres características básicas:

- Fácil manipulación.
- Gran adaptabilidad con otros programas.
- Disponibilidad de la licencia en la empresa.

Estas constituyen un papel primordial y fundamental en el proceso de moldeado en tres dimensiones.

### 2.5.4. *Ensamblar*

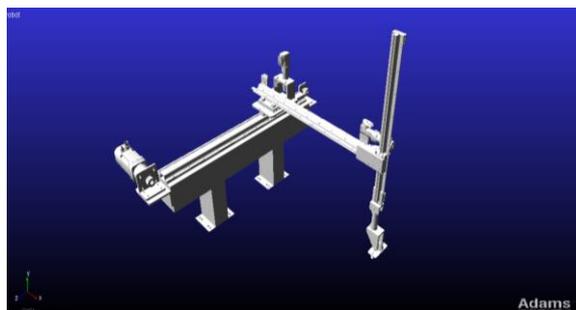
El ensamblado se refiere a la unión de las diferentes piezas que constituye el robot (parte física estructura mecánica), con el cual se acopla a la necesidad del proceso al cual vaya a ser utilizado. Tomando en cuenta las características de los eslabones da paso a la última fase.

### 2.5.5. *Simular*

Esta fase es muy determinante para la construcción de la estructura mecánica debido a que el software Adams con Matlab o Easy 5 que se elige tiene la ventaja de poder simular con los valores reales de los pesos de la estructura del robot y verificar si no existe una atenuación en el proceso además de funcionar de manera idónea y operativa.

## 2.6. Características del robot cartesiano.

Forma parte de un grupo de robots elaborados en CAESOLUTIONSEC, Es un robot tipo industrial que emula un brazo para el proceso de pick and place como se muestra en la **Figura 2-1**.



**Figura 1-2** Robot cartesiano de CAESOLUTIONS.

Realizado por: Salazar Mónica, Urbano Christian

La estructura mecánica del robot está compuesta por:

- Eslabones de transmisión lineal.
- Accionamientos.
- Transmisiones tipo omega.
- Ventosa.

Existe un sistema piñón cremallera como efector final este desplazara 90° la ventosa que se encuentra contenida al final, el material con el cual se conforma el robot es de aluminio y acero en la base, el robot tiene las siguientes características presentadas en la Tabla 1-2.

**Tabla 1-2:** Elementos del robot cartesiano

<b>PARTES</b>	<b>ESPECIFICACIONES</b>
<b>Vertical</b>	550mm
<b>Transversal</b>	835mm/550mm
<b>Controlador de movimiento</b>	Servo motor transmisión de movimiento tipo omega
<b>Carga Útil</b>	4kg/ 3kg/ 0.50kg
<b>Controlador</b>	Controladores B&R
<b>Fuente de alimentación</b>	<b>AC 110 / 60 Hz</b>

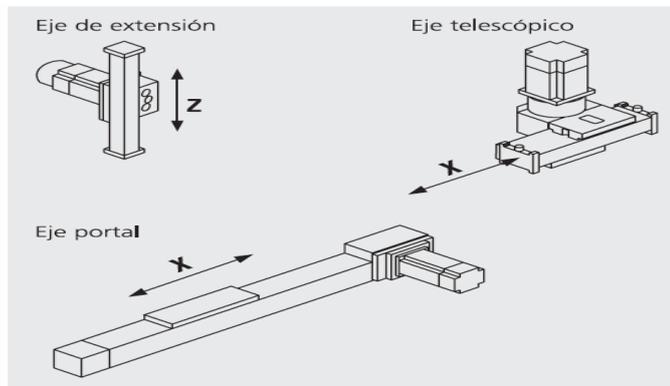
Realizado por: Salazar Mónica, Urbano Christian

## 2.7. Módulos lineales.

Los módulos lineales o guías son sistemas mono eje para movimientos en una dimensión. Existen tres modelos, en función del tipo de movimiento lineal que se realizan en el robot se ocuparán dos tipos, aunque en la mayoría de robots poseen las tres o configuraciones mixtas, en la Figura 2-2 muestra la clasificación de módulos lineales permitiendo establecer que en el robot construido sus tres ejes son portales.

- ✓ En el eje portal se mueve sólo el carro. El cuerpo del eje cubre sin moverse el área de trabajo.
- ✓ En el eje de extensión se mueve sólo el cuerpo del eje, el cual se introduce en el área de trabajo.

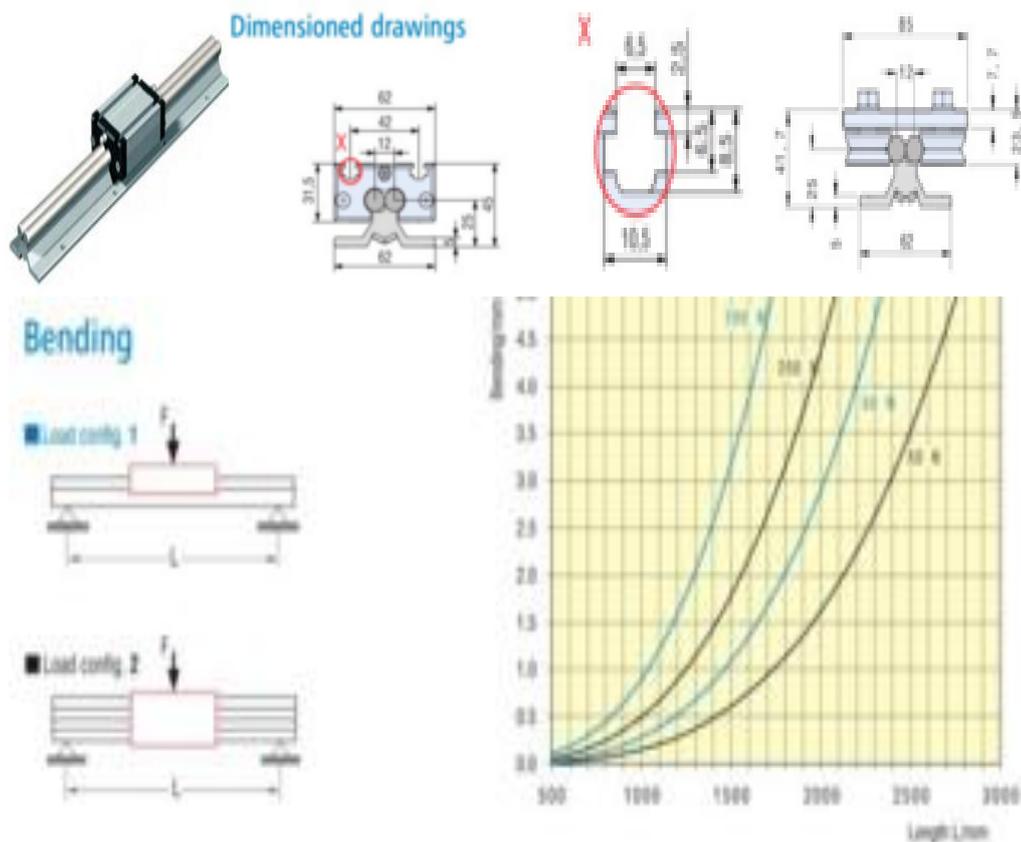
- ✓ En el eje telescópico el carro y el cuerpo del eje se mueven fuera de la posición compacta de retracción y se introducen en el área de trabajo. ( Instituto Schneider Electric de Formación, 2008).



**Figura 2-2** Clasificación de módulos lineales o guías.

Fuente: [http://www.equiposdidacticos.com/img/desarrollos/MESAXY\\_WEB.pdf](http://www.equiposdidacticos.com/img/desarrollos/MESAXY_WEB.pdf)

Cada eje de desplazamiento está compuesto por guías lineales producidos por la marca ISEL los cuales tienen una velocidad máxima de 5m/s y características de fuerzas externas descrita en la Figura 3-2 y Figura 4-2:

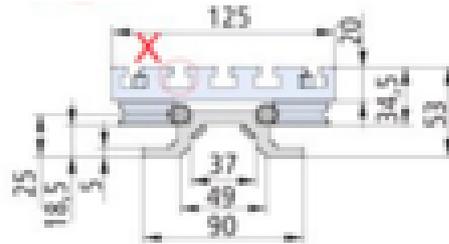
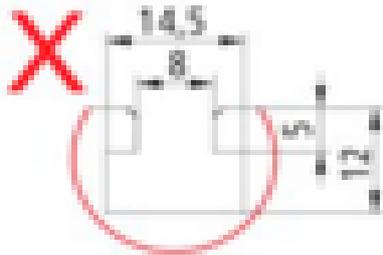
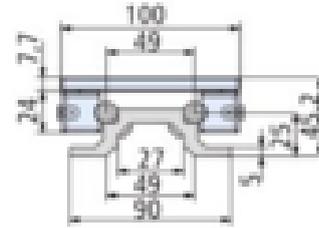


**Figura 3-2** Especificaciones riel Eje Z

Fuente: [https://www.isel.com/germany/de\\_en/products.html](https://www.isel.com/germany/de_en/products.html)



### Dimensioned drawings



### Bending

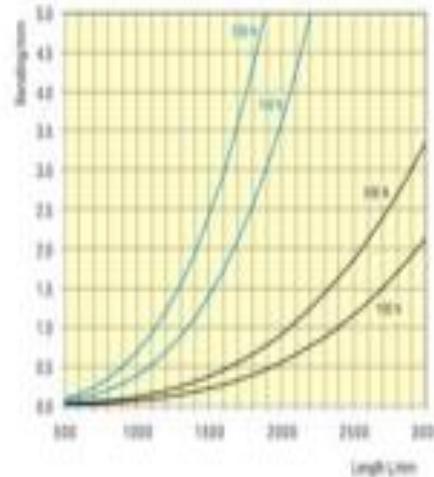
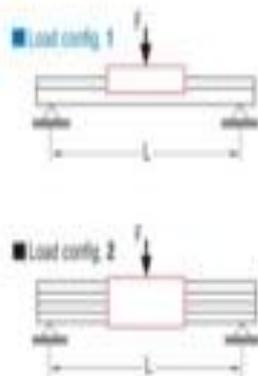


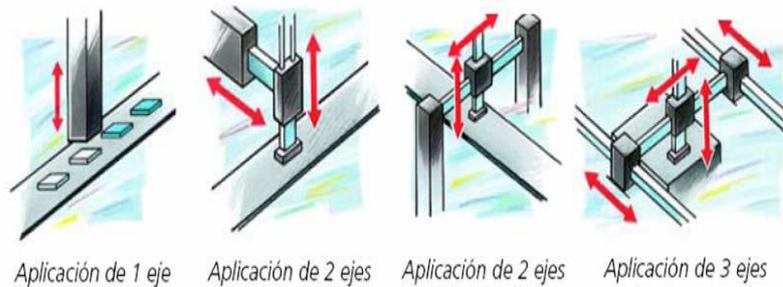
Figura 4-2 Características riel Eje Y y Eje X  
Fuente: [https://www.isel.com/germany/de\\_en/products.html](https://www.isel.com/germany/de_en/products.html)

#### 2.7.1. Componentes principales de un sistema de posicionamiento:

Los manipuladores cartesianos constan de una serie de componentes generales que se repiten en todas las concepciones que existen de este tipo de robot. Del acoplamiento de servomotores<sup>21</sup> y controladores de posicionamiento con sistemas de ejes surgen robots cartesianos de gran precisión y rendimiento para la realización de tareas de posicionamiento en uno o varios ejes. Esto ofrece diferentes composiciones como se muestra en la Figura 5-2. ( Instituto Schneider Electric de Formación, 2008).

---

SERVOMOTOR: son un tipo de motor ocupado en la industria con el fin de que el usuario pueda optimizar aún más los procesos de producción y de servicios.

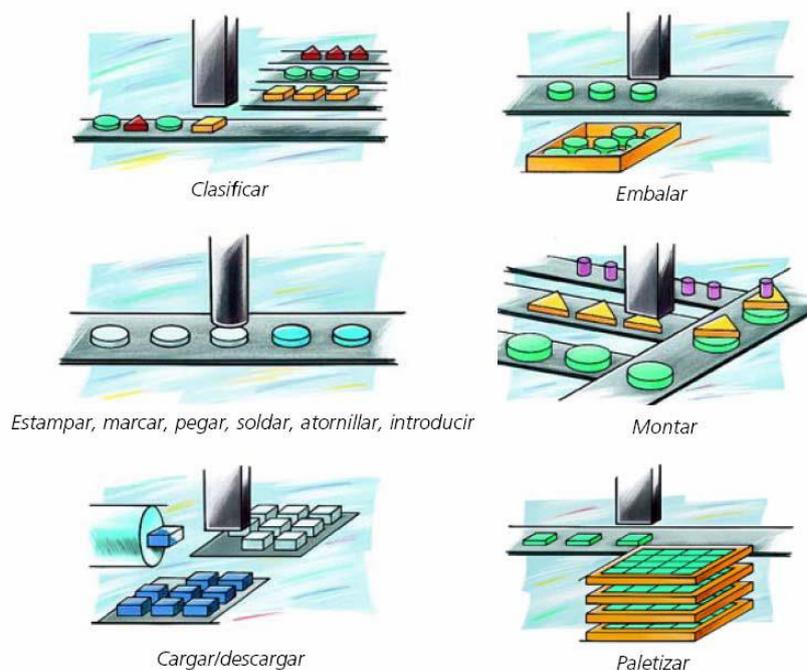


**Figura 5-2** Clasificación de módulos lineales o guías.

Fuente: [http://www.equiposdidacticos.com/img/desarrollos/MESAXY\\_WEB.pdf](http://www.equiposdidacticos.com/img/desarrollos/MESAXY_WEB.pdf)

**2.7.2. Tareas en donde son empleados los robots cartesianos:**

Este tipo de robots cartesianos abordan un gran abanico de tareas de automatización tales como la manipulación y montaje de piezas y la realización de forma fiable, rápida y económica de diversos trabajos. En la Figura 6-2 se muestra las tareas que desarrollan los robots cartesianos en la industria. ( Instituto Schneider Electric de Formación, 2008).



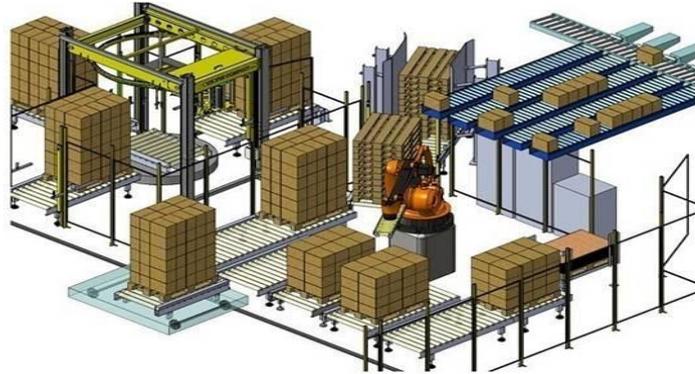
**Figura 6-2** Tareas realizadas por cartesianos en la industria.

Fuente: [http://www.equiposdidacticos.com/img/desarrollos/MESAXY\\_WEB.pdf](http://www.equiposdidacticos.com/img/desarrollos/MESAXY_WEB.pdf)

Dentro de las aplicaciones industriales que tienen los manipuladores robóticos cartesianos se pueden describir varias, las que varían acorde a la necesidad, como por ejemplo: para transporte de cargas, paletizado, corte mediante control numérico (CN), ensamble, impresión en 3D, entre otras.

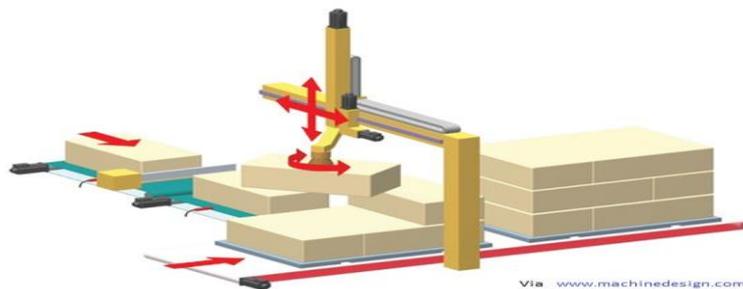
Las aplicaciones citadas anteriormente se describen a continuación:

- Transporte: En ésta área, los robots cartesianos transportan cargas de gran peso de un lugar a otro, pudiendo recorrer grandes distancias dentro de plataformas; estos robot son usados por ejemplo en el sector de desembarco y en la reubicación de contenedores, dentro de fábricas para mover grandes piezas; tal y como se muestra en la figura 7-2.



**Figura 7-2** Tareas realizadas por cartesianos en la industria de transporte.  
Fuente: <https://www.interempresas.net/FotosArtProductos/P108623.jpg>

- Paletizado: En este paso, los robots cartesianos son usados para Paletizar<sup>22</sup> u ordenar y agrupar diversos objetos dentro de una industria; como por ejemplo se muestra en la Figura 8-2. Un robot cartesiano paletizador.



**Figura 8-2** Tareas realizadas por cartesianos en la industria de paletizado.  
Fuente: <http://www.mekkam.com/wordpress/wp-content/uploads/2015/07/cartesian.jpg>

- Corte: Éste tipo de robots cartesianos generalmente usan modelos de Control Numérico (CN), los cuales mediante un programa realizado en la PC, recorren la trayectoria indicada y van cortando los modelos establecidos, esto lo realizan de diversas maneras, como son por ejemplo; el corte mediante agua, láser, solda, etc. y que se lo puede apreciar en la Figura 9-2.

---

PALETIZAR: es un proceso que consiste en mejorar la organización, mejorando el transporte con la finalidad de no causar daño en la mercancía que produzca alguna empresa.



**Figura 9-2** Tareas realizadas por cartesianos en la industria de corte.  
Fuente: [http://proton.ucting.udg.mx/materias/robotica/r166/r108/r108\\_archivos/image036.jpg](http://proton.ucting.udg.mx/materias/robotica/r166/r108/r108_archivos/image036.jpg)

- Ensamble: El ensamble se lo usa frecuentemente en empresas de elaboración de productos tales como: empresas automotrices, industria farmacéutica, industria de elaboración de circuitos electrónicos, entre otras; un ejemplo de esto se lo puede observar en la Figura 10-2.



**Figura 10-2** Tareas realizadas por cartesianos en la industria de ensamble.  
Fuente: [http://img.directindustry.com/images\\_di/photo-m2/cartesian-robot-5-axis-extraction-injection-molding-machine-72624-8652249.jpg](http://img.directindustry.com/images_di/photo-m2/cartesian-robot-5-axis-extraction-injection-molding-machine-72624-8652249.jpg)

- Impresoras 3D: En la actualidad se ha desarrollado una nueva aplicación de los robots cartesianos, basada en la creación de objetos previamente diseñados en una PC; esto se lo realiza con un robot cartesiano que va creando objetos, elaborándolos capa por capa mediante la expulsión de cierto material como plásticos; tal y como se puede observar en la Figura 11-2.



**Figura 11-2** Tareas realizadas por cartesianos en la industria de ensamble.  
 Fuente: [http://s03.s3c.es/imag/\\_v0/640x366/b/3/d/m3d-impresora.jpg](http://s03.s3c.es/imag/_v0/640x366/b/3/d/m3d-impresora.jpg)

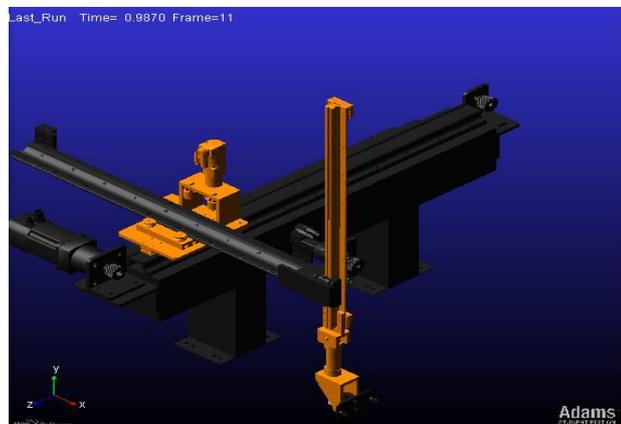
## 2.8. Grados de libertad.

Los grados de libertad son cuantificaciones autónomas que se requiere conocer para definir el estado que tomará el robot en el espacio de trabajo determinado, además de ser un instrumento esencial en sistemas para el análisis en mecanismos.

El número de grados de libertad proporciona mayor maleabilidad al movimiento del efector final, así como anunciar movimientos básicos que realizan los diferentes eslabones. El robot cartesiano presenta tres grados de libertad del tipo desplazamiento.

## 2.9. Articulaciones o Eslabones.

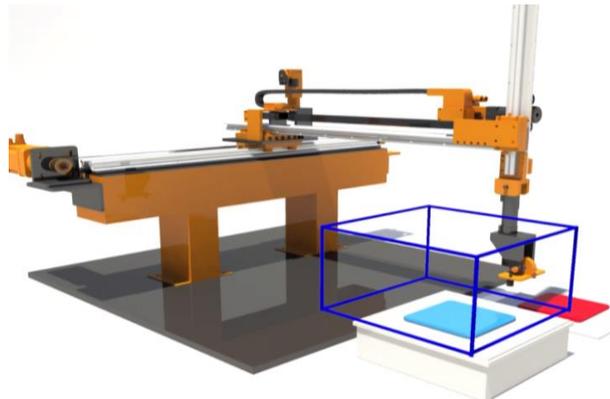
El diseño o arquitectura de un robot cartesiano y la dependencia entre sus efectores da como resultado un sistema mecánico, con el cual se establece el movimiento que se podrá generar en los eslabones, mediante la elaboración de parámetros con los cuales definirá el espacio de trabajo en un sistema de coordenadas donde se podrá posicionar el efector con un sistema de ecuaciones, en la Figura 12-2 muestra los eslabones y su movimiento en la consola de Adams.



**Figura 12-2** Robot cartesiano eslabones y movimiento.  
 Realizado por: Salazar Mónica, Urbano Christian

## 2.10. Volumen de trabajo.

El volumen de trabajo se encuentra limitado por la estructura mecánica debido a sus ejes de desplazamiento, El robot ocupa sus tres rieles y su sistema piñón cremallera para posicionar su efector final generalmente el espacio de trabajo será hexaedro, los límites de coordenadas serán  $L1(d1,0,0)$ ,  $L2(0,d2,0)$ ,  $L3(0,0,d3)$ , en la Figura 13-2 muestra el volumen de trabajo del robot cartesiano.



**Figura 13-2** Volumen de trabajo.  
Realizado por: Christian Urbano, Mónica Salazar.

## 2.11. Capacidad de carga.

La capacidad de la carga máxima para el robot cartesiano es de 500g, por cuanto la ventosa no tiene limitaciones excepto de que las piezas a mover no sean lisas, la capacidad de esfuerzo de tomar la pieza se ve afectado por la velocidad con la cual se pretenda realizar la operación ya que existe una relación directa velocidad / torque del motor.

## 2.12. Precisión.

La destreza de robot para situar en el extremo de su efector un objeto en la posición requerida dentro de su volumen de trabajo se ve determinada por:

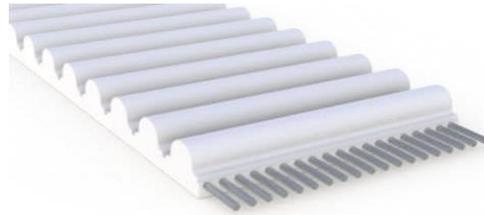
### ✓ Transmisiones

El sistema de transmisión es aquella que genera una potencia mecánica actuando sobre ellas las siguientes configuraciones:

- Transmisiones con configuración omega y,
- Transmisiones de fuerza periférica

## ✓ Correas dentadas

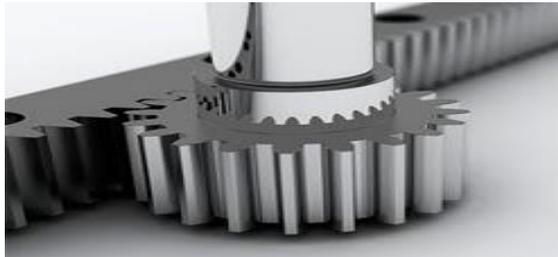
Las correas dentadas son ejecutadas para generar un desplazamiento o movimiento generando fricción entre sus ejes paralelos, pero garantiza movimiento idóneo para este tipo de sistema, la Figura 14-2 muestra el tipo de correa dentada.



**Figura 14-2** Correa de tipo HTD5.

Fuente: <http://www.directindustry.es/prod/gates-europe/product-38417-1496547.html>

En el piñón y cremallera se genera un ángulo agudo con el cual nos permite poder levantar con menor esfuerzo y su impulso se debe a un cilindro neumático que ayuda a suavizar el movimiento. En la Figura 15-2 muestra el piñón cremallera.



**Figura 15-2** Piñón cremallera.

Fuente: [http://www.aulatecnologia.com/BACHILLERATO/1\\_bg/APUNTES/mecanismos/mquinas2.htm](http://www.aulatecnologia.com/BACHILLERATO/1_bg/APUNTES/mecanismos/mquinas2.htm)

## 2.13. Efector.

Este robot se puede configurar con diferentes tipos de efectores finales, pero por efectos didácticos se colocará una ventosa con la finalidad de sostener los objetos para cargar y descargar con mayor facilidad.



**Figura 16-2** Tipos de ventosas

Fuente: <http://www.rindustriales.com/ventosas.html>

## 2.14. Servomotores.

Los servomotores forman parte de una clasificación determinante de motores de alimentación AC su principal característica es la capacidad que tiene para ubicarse en la posición deseada casi de forma instantánea dentro de su intervalo de operación, la mayor parte de este tipo de dispositivos contienen encoders y/o resolvers que permite tener la referencia y almacenar la posición final de su último funcionamiento.

Los servomotores serán dimensionados de acuerdo al torque que generen entre eslabón a eslabón además de establecer la velocidad con la cual se dispone mover dicha carga, en este caso se ocupa dos tipos de servomotores el 8LVA13 que tiene una velocidad de 1500rpm y un torque de 0.34 Nm que están colocados en el eje Y, y en el eje Z, y el 8LSA15 que tiene una velocidad de 3000rpm y un torque 2.1Nm, se colocó en el eje X y es donde se moverá toda la carga.

Con ese análisis se puede ajustar de acuerdo a las necesidades de carga a transportar, en este caso se ocupó un reductor 1:5 para lo cual se tiene un torque nominal de 1.7N.m y 1.2Nm respectivamente, estos servomotores cumplen con un serial de servo driver los que se ocuparon son Acopos 1010 y Acopos 1016 respectivamente. En la Figura 17-2 se muestra un servomotor de las características anteriormente mencionadas.



**Figura 17-2** Servomotor serie 8LV

Fuente:<https://www.br-automation.com/es/productos/control-de-movimiento/motorescompactos-8lv/>

## 2.15. Servoaccionamiento.

Esto significa que el usuario no tiene que configurar los ajustes de accionamiento en el campo. Nada más conectar el encoder al servo accionamiento y activar toda la electrónica, el motor se identifica automáticamente. Éste envía sus parámetros de clasificación y de límite al servoaccionamiento. A continuación, el servoaccionamiento determina automáticamente los parámetros de control y límite de corriente para el funcionamiento óptimo del motor. El usuario sólo tiene que optimizar los autómatas de posición y velocidad. El entorno de puesta en marcha

integrado en B&R Automation Studio™ proporciona todo el soporte necesario. Además de la asistencia durante la puesta en marcha, también se simplifican las tareas de mantenimiento, y los motores se pueden sustituir sin tener que perder tiempo ajustando parámetros, en la Figura 18-2 se muestra un servo driver de la marca B&R. (Bernecker + Rainer Industrie Elektronik GmbH, 2015).



**Figura 18-2** Acopos serie 1010 a 0.45kw

Fuente: <http://www.br-automation.com/en/products/motion-control/acopos/servo-drives/8v1010001-2/>

## 2.16. Touch panel y tarjetas

En la Figura 19-2 se muestra un Touch Panel de serial 4PP065.0571-P74 marca B&R, éste cuenta con las tarjetas que ingresan al servo driver y permite realizar una comunicación directa por Ethernet Powerlink, las tarjetas detalladas en el Anexo K que contienen los módulos de Motion Control con los cuales se realizaron el control respectivo de cada motor.



**Figura 19-2** Patch panel serial pp65

Fuente: <http://www.br-automation.com/en/products/visualization-and-operation/power-panel-65/power-panel-65/4pp0650571-p74/#basicinfo>

## **2.17. Sistemas de fuerza en un robot industrial.**

Estos sistemas son los encargados de efectuar los movimientos físicos controlados por alguna técnica de control, estos movimientos físicos están determinados por la estructura mecánica del robot por cuanto pueden ser circulares lineales o mixtas.

Los diversos procesos que se encuentran bajo la técnica de control debe tomar en cuenta los parámetros que determinan su movimiento con los cuales permiten elegir el actuador que necesita el sistema, dentro de este tipo de actuadores se encuentran tres tipos y son los siguientes:

### ***2.17.1. Actuadores de fuerza hidráulicos.***

Su principal componente es la presión que se genera a través de aceite con densidad liviana, con la finalidad de dar movimiento a los mecanismos y componentes partes del robot, este tipo de sistema de actuadores se ocupa en robots de escala grande, los cuales requieren mayor resistencia mecánica y para levantar cargas extremadamente pesadas.

Poseen altos indicadores de potencia para movimiento de cargas, además de contener mayor exactitud a la respuesta en el desempeño suave con velocidades y es una principal ventaja frente a los actuadores neumáticos.

### ***2.17.2. Actuadores de fuerza eléctricos.***

Su principal fuente es la energía eléctrica para que se pueda ejecutar el movimiento del mecanismo de un robot, este tipo de actuadores se ocupa en robots de tipo mediano debido a que no requieren tanta velocidad ni potencia para levantar cargas extremadamente pesadas, pero se caracterizan por su mayor exactitud y mejor calidad en los ciclos de repetición de procesos.

Los sistemas de accionamiento o actuadores de un sistema prefieren ocupar sistemas eléctricos ante un sistema hidráulico por el espacio físico además de ofrecer exactitud y en ciclos repetitivos, aunque sea un limitante el poder manipular cargas que sea de un alto peso.

#### ***2.17.2.1. Partes que constituyen un sistema eléctrico.***

Los sistemas eléctricos son una parte primordial en todo sistema dentro de estos tenemos diferentes elementos y son los siguientes:

Contadores: Estos forman parte de una interfaz entre los mandos de control y los actuadores eléctricos de potencia, su principio de funcionamiento es mediante la excitación eléctrica de una bobina, autogenerando el magnetismo que atrae un módulo mecánico, con el cual se conmuta uno o varios interruptores mecánicos que manejan corrientes elevadas.

Relés: Son unidades electromagnéticas que conmutan uno o varios contactos eléctricos con el fin de generar una fuerza electromagnética, esta se genera por el paso de corriente a través de su bobina.

Breaker: Son bloqueadores su finalidad es aislar la potencia de entrada, su característica fundamental es que es conectada en serie a la alimentación de la carga, estos tienen sus propiedades físicas determinadas por los fabricantes para trabajar en diferentes sitios de trabajo, así como la dimensión de corriente a la que pueden ser sometidos.

Relé térmico: Son bloqueadores de sobre intensidades cuya funcionalidad es proteger a diferentes dispositivos que se encuentren conectado a una línea de alimentación con la finalidad de brindar seguridad en el caso de que exista anomalías en los contactos.

### ***2.17.3. Actuadores de fuerza Neumáticos***

Una de las principales características es que ocupa la compresión del aire para ejercer presión y tener control sobre los movimientos, este aire comprimido se desplaza a través de conductos o mangueras, los robots con aire comprimido son ocupados en diferentes tipos de industria por su bajo costo y poca contaminación con los cuales se procede a ocuparlos en procesos simples de recoger-ubicar, dentro de sus desventajas es difícil controlar la velocidad y posición ya que el aire que contiene no es constante y la falta de aire incrementa los paros mecánicos.

Hay varios dispositivos neumáticos para diferentes tipos de procesos, pero para el robot en construcción se utilizará un cilindro neumático este es un actuador, su movimiento se manifiesta por la acción de un pistón alojado dentro de un cilindro con presión, es por esta respuesta de movimiento que toma este nombre de cilindro o pistón neumático, en la figura 20-2 se muestra un ejemplo de cilindro neumático de la marca FESTO.



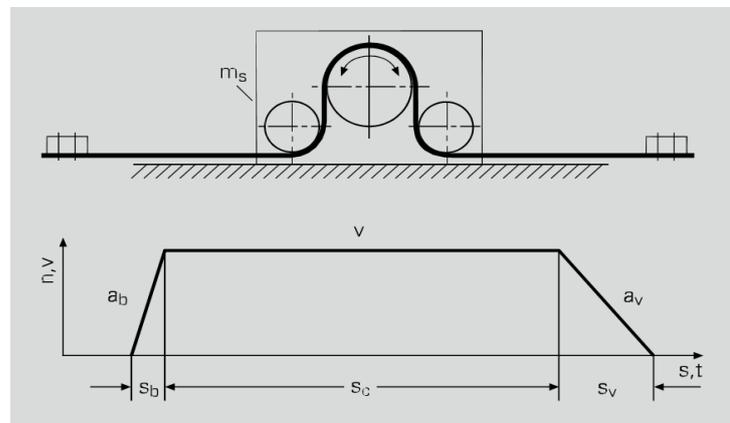
**Figura 20-2** Cilindro neumático

Fuente: <http://www.directindustry.es/prod/festo/product-4735-120580.html>

## 2.18. Trasmisiones y reducciones

Las transmisiones, como se indica en la Figura 21-2, son elementos encargados de transmitir el movimiento desde los actuadores hasta las articulaciones, como por ejemplo un motor que tiene acoplado una polea dentada la cual será sujeta en su contorno por una correa o banda dentada estos trabajan en conjunto para generar movimiento, el reductor esta dimensionado con las características del peso y la velocidad con la cual se va a desplazar.

- ✓ Deben tener un torque necesario para mover el peso que se coloque
- ✓ Se debe trabajar con un rango de seguridad de 1.5 en el dimensionamiento del reductor.



**Figura 21-2** Parámetros para dimensionar un servomotor

Fuente: <http://www.directindustry.es/prod/festo/product-4735-120580.html>

## 2.19. Cadenas Portacables

Son cadenas plásticas elaboradas con un contenido de polímeros y tienen uso a nivel industrial para transportar el cable en secciones en donde existe movimiento, tanto por atractivo como por cuidado del cableado eléctrico instalado en el robot tiene diferentes presentaciones acorde a su espacio de trabajo. Un ejemplo de cadena portacables se la puede observar en la Figura 22-2.



**Figura 22-2** Cadena porta cables con cables en su interior.  
 Fuente: [http://mlm-d1-p.mlstatic.com/3733-MLM65120540\\_7976-V.jpg](http://mlm-d1-p.mlstatic.com/3733-MLM65120540_7976-V.jpg)

## 2.20. Sistema sensorial

Es un conjunto de sensores que permiten al manipulador robótico tener conocimiento del entorno de trabajo del mismo. Los sensores que conforman el sistema sensorial interno ayudan al robot a conocer la posición, orientación, velocidad, aceleración de cada articulación, mientras que los sensores que conforman el subsistema sensorial externo ayudan a detectar y reconocer el entorno, estos pueden ser: de alcance, proximidad, contacto y orientación espacial, en la Tabla 2-2 muestra los tipos de sensores internos y externos en un robot.

**Tabla 2-1** Tipos de sensores internos en un robot

Descripción	Tipo	Característica
Presencia	Inductivo Capacitivo Efecto hall Célula reed Óptico Ultrasónico Contacto	
Posición	Analógicos  Digitales	Potenciómetros Resolver Sincro Inductosyn LVDT Encoders Encoders incrementales Regla óptica
Velocidad	Tacogeneratriz	

Fuente: (Barrientos, 1997, p. 36).

## 2.21. Herramientas de simulación

En primera instancia se da a conocer los paquetes de diseño CAD/CAM ocupados en el desarrollo del presente proyecto con su breve explicación de funcionamiento con los cuales se puede acceder para el diseño de prototipos similares o mejorados, estos paquetes de software son ocupados en la industria de la robótica.

### 2.22. Software Catia v5

Es una herramienta para la ingeniería en el diseño de piezas mecánicas con los cuales se puede realizar prototipos sostenibles, es distribuido por la compañía francesa DASSAUL SYSTEMS. En la figura 23-2 se muestra la página de inicio del software de Catia V5 en el cual se moldeó piezas básicas para la construcción del robot.



**Figura 23-2** Logo de Catia v5

Fuente: <http://aulacampus.es/campus/?lang=en>

### 2.23. Solidworks

Es un paquete de modelamiento mecánico en 3D, cuenta con variadas herramientas de diseños ensambles y dibujos, SOLIDWORKS incluye herramientas de productividad en gestión de proyectos es distribuido por la misma empresa de Catia y posee un entorno gráfico basado en Windows muy amigable, en la Figura 24-2 se muestra el logo de Solidworks en cual se ejecutó los ensambles mecánicos del robot.



**Figura 24-2** Logo de Solidworks

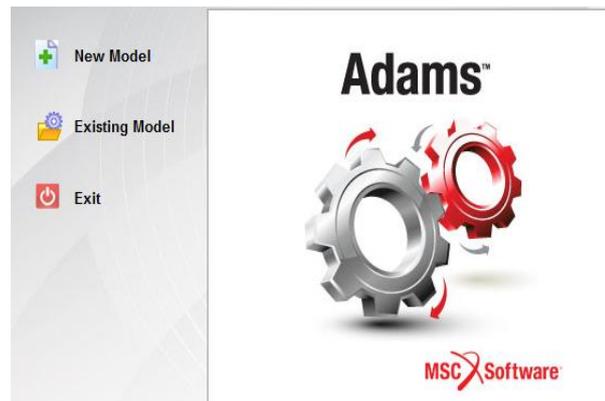
Fuente: <http://www.solidworks.com/>

### 2.24. Msc Adams

Es una herramienta ocupada para la simulación de sistemas mecánico lineal y no lineal, cuenta con herramientas de co-simulación con otra gama de programas que permite realizar diferentes tipos de análisis de un sistema de control, tiene un entorno bastante amigable y múltiples ventajas como simulador dinámico, Adams es distribuido por la marca Msc software.

En el proceso de simulación nos encontramos con Adams/View y Adams/Controls

En la primera se puede hacer análisis de torque, vibraciones, fuerzas externas y otras variables que son importantes para un estudio de estabilidad de material, se desarrolla un prototipo virtual para simular la parte dinámica del proyecto, y Adams/Controls permite comunicar con otros programas para realizar el estudio en Co-Simulación. En la figura 25-2 se muestra la página inicial del software Adams con el cual se hizo los estudios del modelo dinámico del robot.



**Figura 25-2** Logo de Adams

Fuente: <http://www.mscsoftware.com/page/adams-student-edition>

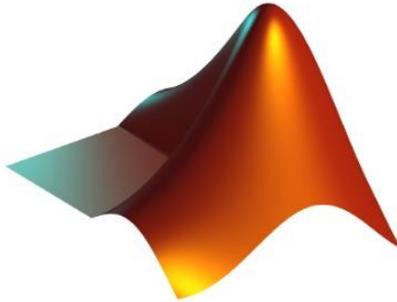
## 2.25. Co- simulación

Esta herramienta es fundamental para el diseño en prototipos y es considerada como una de las alternativas más efectivas dentro de un proceso industrial, destina mayor efectividad y una disminución en el costo, manejo efectivo de tiempo de construcción debido a que se tiene el comportamiento de los sistemas en condiciones normales y anormales, con esto se tiene un sistema para optimizar los parámetros, detección de errores en un sistema o como una experiencia del comportamiento dinámico además de tener la confianza de que no exista daño físico en la estructura mecánica, con esta herramienta se observa ventajas y desventajas antes de ser construido además de contener gran cantidad de parámetros en el modelo matemático y por simple análisis se puede descartar la construcción de un proyecto.

Una de las características principales de este software es que permite al diseñador dar los ajustes necesarios para resolver los problemas presentados en el sistema, debido a que se puede modificar cualquier propiedad pre establecida y realizar limitaciones para que trabaje de manera óptima.

Una vez construido el cartesiano se pueden implementar estrategias de control a través de Matlab (entorno de computación y desarrollo matemático), con el cual se logra la Co-Simulación, en la

Figura 26-2 se muestra el logo de Simulink herramienta de Matlab con el cual se creó la co-simulación donde se obtuvo el movimiento del robot.



**Figura 26-2** Logo de Matlab-Simulink

Fuente: [http://www.mathworks.com/index.html?s\\_tid=gn\\_logo](http://www.mathworks.com/index.html?s_tid=gn_logo)

## **2.26. Automation Studio B&R**

Automation Studio de B&R es una herramienta de ingeniería a nivel industrial una de las más confiables para la configuración y programación de controladores B&R, este software incluye las librerías para realizar la visualización de paneles, este sistema de configuración interpreta sus parámetros con el objetivo de reducir los tiempos invertidos en ingeniería ya que contiene funciones integradas para una proporción grafica sencilla y rápida además de contar con localización de errores realizando análisis preventivos y correctivos de un sistema en tiempo real en menor tiempo mejorando grandes procesos.

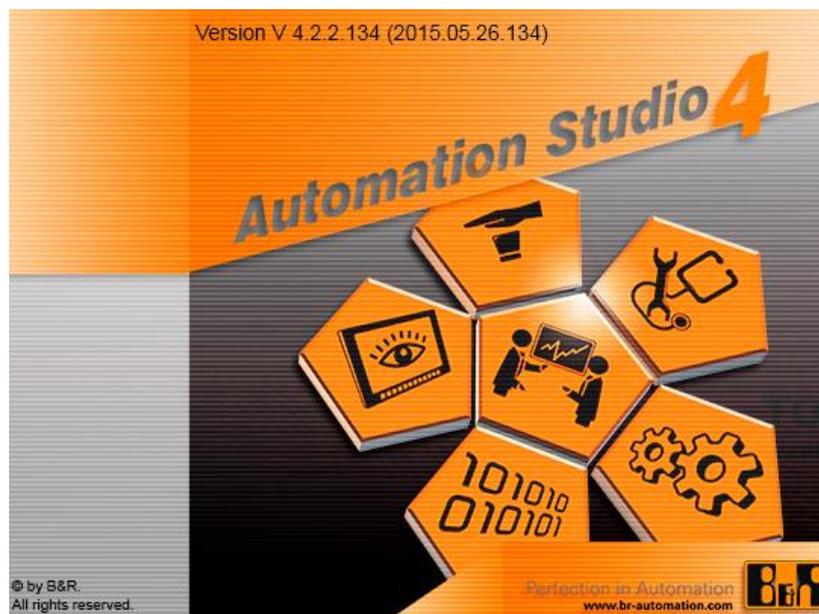
Por el tipo de orientación en un sistema de proyectos y división en paquetes funcionales, proyectos prototipos extensos pueden ser formalizados y programados con rapidez y claridad. Los componentes de la máquina secuenciados pueden ser configurados y asignados a diferentes configuraciones de hardware. En un proyecto, puede aminorar múltiples estados de entrega, además del entorno de pruebas para ciertos tipos de máquinas, que se puede utilizar la variación de software y hardware.

Información adicional

- Requisitos del sistema
- Gestión de proyectos
- Programación
- Visualización
- Configuración de las unidades
- Los sistemas de comunicación y de bus de campo
- Diagnóstico

Programación - El lenguaje de programación adecuada para cada aplicación.

El usuario proporciona un apoyo efectivo por los lenguajes de programación integradas en Automation Studio - que también se pueden combinar según sea necesario - y por la arquitectura moderna y estructuración del entorno de programación. Todos los idiomas pueden tener acceso a los mismos tipos de datos y el uso de las mismas bibliotecas y variables. Además, Automation Studio es compatible con la programación sencilla y segura. En la Figura 27-2 se muestra la página de inicio de la consola de Automation Studio de B&R, en el cual se realizó el control de movimientos del robot.



**Figura 27-2** Logo de Automation studio de B&R

Fuente: <http://www.br-automation.com/en/products/software/automation-studio/>

## **2.27. Sistemas de control empleados en robots industriales**

El control automático en procesos industriales es el elemento fundamental e integral de un sistema industrial y de manufactura. La robótica industrial está centrada en el desempeño de sistemas dinámicos que supriman operaciones manuales repetitivas con el fin de obtener una mejor productividad, es por eso que existen diversos sistemas de control que han sido fuente de ideas globales para la elaboración de prototipos robóticos.

## **2.28. Sistema de control de lazo abierto**

*“...Los sistemas de lazos abiertos se caracterizan principalmente por que la salida no tiene ningún efecto sobre la entrada, la exactitud de un proceso de lazo abierto depende de la calibración con la que se precisa a los elementos de control mientras que la repetitividad de los*

eventos se ve afectados por el extenso período de tiempo en inasistencia de perturbaciones externas... ”. (kelly & Santivañez, 2003).

## 2.29. Sistema de control de lazo cerrado

Este sistema de control se caracteriza por tener una correlación en la entrada de un proceso con la salida del mismo, con lo cual permite tener un mejor control ya que se tiene las acciones ordenadas además de tener un control completo de un proceso.

Los controles dinámicos aplicados a cualquier estructura dinámica es la siguiente:

$$\tau = M(q)\ddot{q} + C(q, \dot{q})\dot{q} + g(q) + f(\dot{q})$$

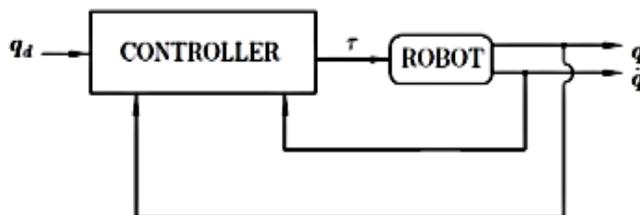
**Ecuación 1-2** Ecuación dinámica de un sistema de control lazo cerrado

## 2.30. Control de posición

El control de posición se los puede encontrar en robots manipuladores cuando en su espacio interactúa con la periferia. Este tipo de controladores de posición ocupa parámetros como la posición y la velocidad angular con la finalidad de determinar el torque necesario para realizar dicha operación. En la Figura 28-2 se muestra el diagrama de funcionamiento de un sistema con control de posición. (kelly & Santivañez, 2003)

$$\lim_{t \rightarrow \infty} q(t) = q_d$$

**Ecuación 2-2** Ecuación de un sistema de control de posición



**Figura 28-2** Sistema dinámico malla cerrada  
Fuente: (kelly & Santivañez, 2003, p. 135)

### 2.30.1. Control de posición con retroalimentación de velocidad y control PD

El Control Proporcional (P) con retroalimentación de velocidad es el controlador de malla cerrada más sencillo que puede emplearse en el control de robots manipuladores.

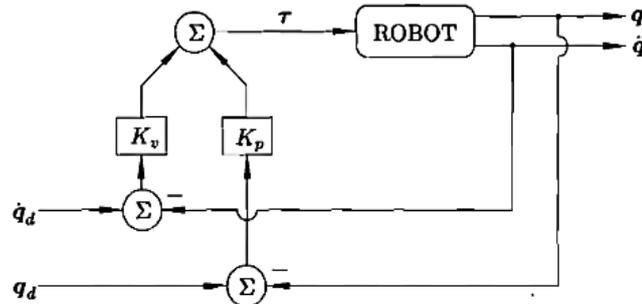
La aplicación conceptual de esta estrategia de control es común en el control de la posición angular de motores de corriente continua. En dicha aplicación, también se le conoce con el nombre de control proporcional con retroalimentación tacométrica.

La ecuación del controlador Proporcional con retroalimentación de velocidad viene dada por:

$$\tau = k_p \hat{q} + k_v \dot{q}$$

**Ecuación 3-2** Ecuación del Control Proporcional con Retroalimentación

Donde  $K_p$ ,  $K_v$  son definidas positivas seleccionadas por el diseñador y denominadas ganancia de posición y de velocidad (o derivativa), respectivamente. En la figura 29-2 se muestra un control de posición derivativa con sus respectivas variables.



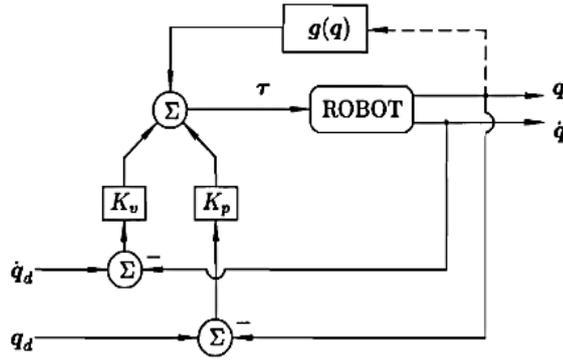
**Figura 29-2** Control PD  
Fuente: (kelly & Santivañez, 2003, p. 139)

### 2.30.2. Controlador PD con compensación de gravedad

Se consigue eliminar el error de régimen permanente en la constante  $k_i$ , un elemento principal es el vector gravedad que compensa el torque en tiempo real este controlador es necesario cuando el conocimiento del manipulador es de tipo parcial es decir que  $g(q)$  sea conocido. En la Figura 30-2 se muestra un control de compensación de gravedad, sus variables y funcionamiento, además de estar definida por:

$$\tau = k_p \hat{q} + k_v \dot{q} + g(q)$$

**Ecuación 4- 2** Ecuación de control PD con compensación de gravedad



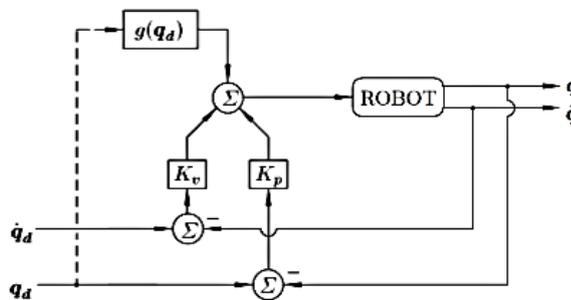
**Figura 30-2** Control *PD* con compensación de gravedad.  
**Fuente:** (kelly & Santivañez, 2003, p. 155)

### 2.30.3. Controlador *PD* con compensación de gravedad pre-calculada

Cumple la misma función del anterior pero el término  $g(q)$  es ingresada al inicio del sistema y está definida por:

$$\tau = k_p \hat{q} + k_v \dot{q} + g(q_d)$$

**Ecuación 5-2** Ecuación de un controlador *PD* con compensación de gravedad pre-calculada



**Figura 31-2** Control *PD* con compensación de gravedad pre calculado  
**Fuente:** (kelly & Santivañez, 2003, p. 158)

### 2.30.4. Control *PID*

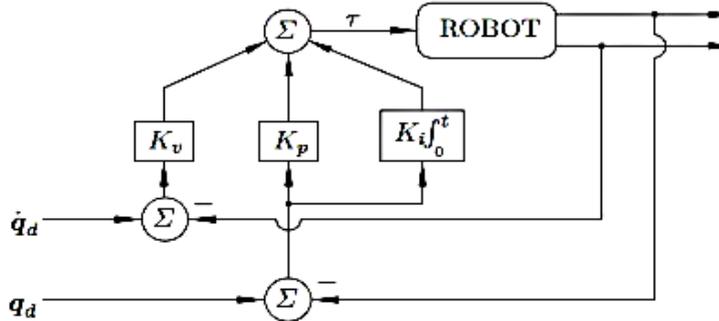
En el caso del robot cartesiano se aplicará control *PID* debido a su controlador de servo driver **ACOPOS** que tiene por defecto.

Existen otros tipos de controladores, pero no satisfacen la corrección del error en la posición debido a que tendrá un vector constante pero diferente de cero por lo tanto el control integral derivativo queda definido por la ecuación:

$$\tau = k_p \hat{q} + k_v \dot{q} + k_i \int_0^t \ddot{q}(\sigma) d\sigma$$

**Ecuación 6-2** Ecuación de un control integral derivativo

Donde  $k_p$ ,  $k_v$ ,  $k_i$ , son matrices de diseño simétricas y definidas positivas, en la figura 32-2 se muestra el funcionamiento de un control integral derivativo.

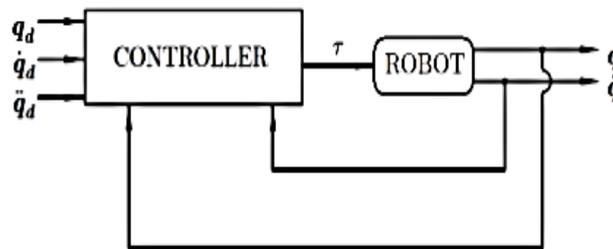


**Figura 32-2** Control PID

Fuente: (kelly & Santivañez, 2003, p. 188)

### 2.31. Control de movimiento

Llamado también control de trayectoria entre varios puntos sin interactuar con su entorno, en la figura 33-2 se muestra el control de movimiento.



**Figura 33-2** Control de movimiento.

Fuente: (kelly & Santivañez, 2003, p. 210)

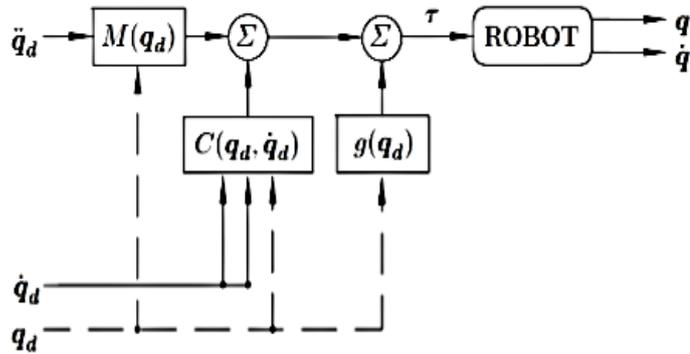
#### 2.31.1. Control por compensación.

Control de malla abierta donde el controlador es un modelo dinámico inverso por lo tanto es inhábil de cumplir los objetivos de control de movimiento definido por la siguiente ley de control:

$$\tau = M(q_d) \ddot{q}_d + C(q_d, \dot{q}_d) \dot{q}_d + g(q_d)$$

**Ecuación 7-2** Ecuación de control por compensación.

Esta no depende de  $q$  ni de  $\dot{q}$  por lo que da la interpretación que sólo se basa en la estructura mecánica del robot.



**Figura 34-2** Control de movimiento.  
Fuente: (kelly & Santivañez, 2003, p. 215)

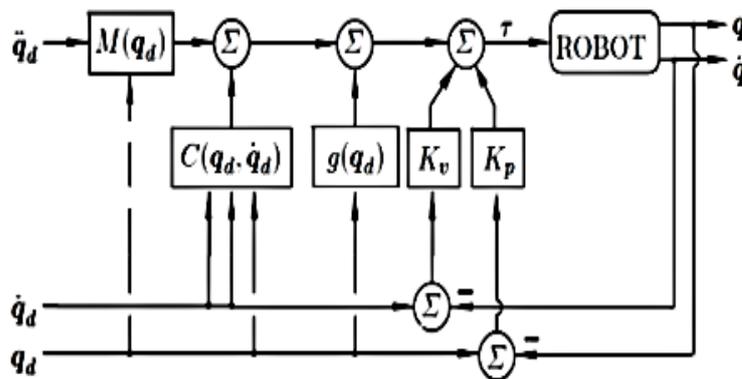
### 2.31.2. Control por pre-compensación.

Este tipo de controlador tiene base en el PD, puesto que se basa en principio de energía, debido a la necesidad de un controlador que siga trayectorias variantes en el tiempo y está determinada por :

$$\tau = K_p \tilde{q} + K_v \dot{\tilde{q}} + M(q_d) \ddot{q}_d + C(q_d, \dot{q}_d) \dot{q}_d + g(q_d)$$

**Ecuación 8-2** Ecuación de control por pre compensación.

Esta ecuación determina el PD por compensación



**Figura 35-2** Control de movimiento.  
Fuente: (kelly & Santivañez, 2003, p. 220)

Para este sistema lo más importante es seleccionar la adecuada ganancia  $K_p$  para tener resultados óptimos.

### 2.32. Modelo cinemático y dinámico del robot cartesiano

Este proyecto se fundamenta en la implementación de un robot cartesiano con tres grados de libertad, las piezas previamente diseñadas en la plataforma de Catia, su ensamble ejecutado en Solidworks. Estas piezas son importadas a Msc Adams, el cual sirve de plataforma para el estudio del modelo dinámico además de enlazar los archivos para la Co-Simulación con Matlab.

### 2.33. Descripción física y geométrica del robot cartesiano

La tabla 2-3 muestra las longitudes de los rieles ensamblados en el robot cartesiano con las características físicas del efector final.

**Tabla 2-2** Descripción de los ejes.

Pieza	Longitud(mm) / Peso(kg)
Eje X	835/35
Eje Y	535/20
Eje Z	550/5
Efector final	90° / 0.90

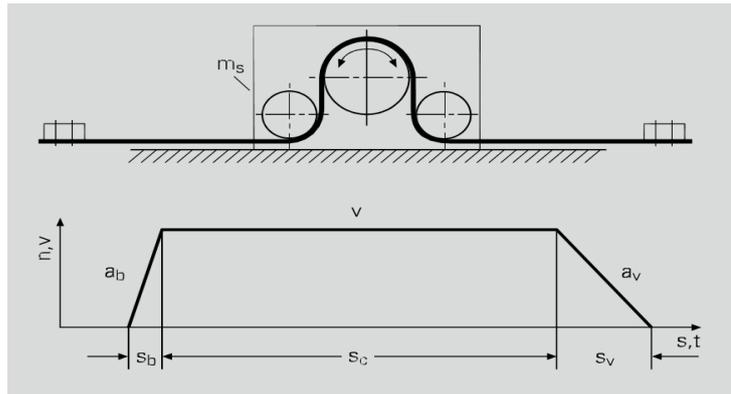
Realizado por: Salazar Mónica, Urbano Christian

La tabla 2-4 presenta las características de los eslabones, diámetros de las poleas y la cantidad de peso que va a mover cada eslabón, además de determinar la velocidad y la fricción. En la figura 36-2 se muestra los parámetros que fueron considerados para ocupar este sistema de transmisión omega y de configuración de fuerza periférica.

**Tabla 2-3** Variables de la configuración omega

Variables	Nomenclatura	Unidades	Eje x	Eje y	Eje z
Longitud de banda	$v$	mm	600.00	600.00	600.00
Diámetro primitivo de la polea	$d_w$	mm	41.38	41.38	41.38
Diámetro de la polea	$d$	mm	45	45	45
Masa a trasladar	$m_s$	kg	40	16	5.7
Coefficiente de fricción	$\mu$	-	0.3	0.3	0.6
Espacio desplazamiento	$t_c$	s	1	1	1
Desplazamiento a $v_{const}$	$s_c$	mm	150	100	100
Distancia de aceleración	$s_b$	mm	250	235	250
Distancia de Frenado	$s_v$	mm	400	300	300

Realizado por: Salazar Mónica, Urbano Christian



**Figura 36-2** Configuración de sistema omega

Fuente: <http://www.mulco.net/content/en/download/res/34298-6.pdf>

La relación de movimiento angular y lineal de los dos motores con reductor se determina ocupando la siguiente formula:

$$v = dw \cdot \pi \cdot vm$$

**Ecuación 9-2** Ecuación de movimiento lineal con relación al movimiento angular

Dónde:

$v$  = la velocidad lineal.

$dw$  = diámetro primitivo de la polea.

$vm$  = la velocidad final del motor.

Con el valor de la velocidad lineal se puede establecer los valores de aceleración franco de subida **ecuación**  $a_b$  y desaceleración franco de bajada **ecuación**  $a_v$  en el sistema para cada eje los cuales nos permiten realizar un control óptimo en el movimiento.

$$a_b = \frac{v^2}{2s_b} \qquad a_v = \frac{v^2}{2s_v}$$

**Ecuación 10-2** Ecuaciones de aceleraciones franco de subida y franco de bajada.

Donde:

$v$  = es la velocidad máxima de estabilidad.

$s_b$  = es el período de aceleración de flanco de subida .

$s_v$  = es el período de aceleración de flanco de bajada.

Dentro del diseño del prototipo se debe considerar que el período de flanco de bajada debe ser más grande que el flanco de subida para no forzar el esfuerzo que realiza el servomotor para llevar la carga de un punto a otro.

Seguido de esto se procede a ingresar los valores requeridos en el software de Mulco belt-pilot el cual contiene la información de las bandas que distribuyen como propiedades físicas y características para la cual se va a ocupar.

Determinado los valores se analiza el torque requerido y si su valor alcanza para desplazar la carga que se va a montar en los rieles y bajo qué circunstancias va a trabajar con su respectivo rango de seguridad nos da la confiabilidad en la elección del tipo y característica física de la banda o correa que se coloque en el diseño.

Por lo tanto, con estos valores se determina el motor y reductor exactos los cuales se procederán a comprar, tomando en cuenta que el único eje que se desplaza verticalmente ocupa un coeficiente de fricción de 0.6 siguiendo el criterio de análisis de bandas que presenta Mulco belt-pilot, debido a fenómenos físicos y rangos de seguridad en sistemas de rieles con los cuales se pretende a ocupar.

Con lo que nos permite encontrar el valor efectivo de la transmisión definida con la siguiente ecuación de fuerza necesaria para generar el movimiento:

$$F_{ms} = a_b + m_s \cdot g \cdot \mu$$

**Ecuación 11-2** Ecuación de fuerza periférica.

Donde:

$a_b$  = es la aceleración en flanco de subida

$m_s$  = es la masa que se va a desplazar

$g$  = es la gravedad

$\mu$  = el coeficiente de fricción

Conocido la fuerza periférica que se va a ocupar se puede dimensionar el ancho y paso de la banda, así como de la polea el diámetro y el número de dientes que debe tener dando paso a la siguiente fórmula de cálculo:

$$z_p = \frac{d \cdot \pi}{P_b}$$

**Ecuación 12-2** Ecuación para cálculo de el paso de banda.

Donde:

$z_p$  = número de dientes a calcular.

$d$  = diámetro de la polea [mm].

$P_b$  = Cinturón de paso [mm].

Para encontrar la longitud de la banda se ocupa la siguiente formula:

$$z_b = \frac{2 \cdot e}{P_b} + z_p$$

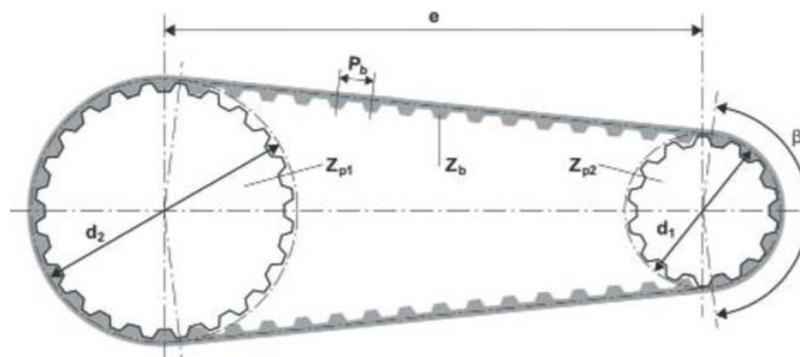
**Ecuación 13-2** Ecuación para el cálculo de número de dientes de la polea.

Donde:

$z_b$  = número de dientes de la banda.

$e$  = distancia de centro a centro de las poleas [mm].

$P_b$  = Paso de la polea [mm].



**Figura 37-2** Configuración de sistema omega

Fuente: <http://www.habasit.com/en/timing-belts.htm>

Con lo cual se puede determinar la cantidad de dientes que tiene la banda  $I_0$ .

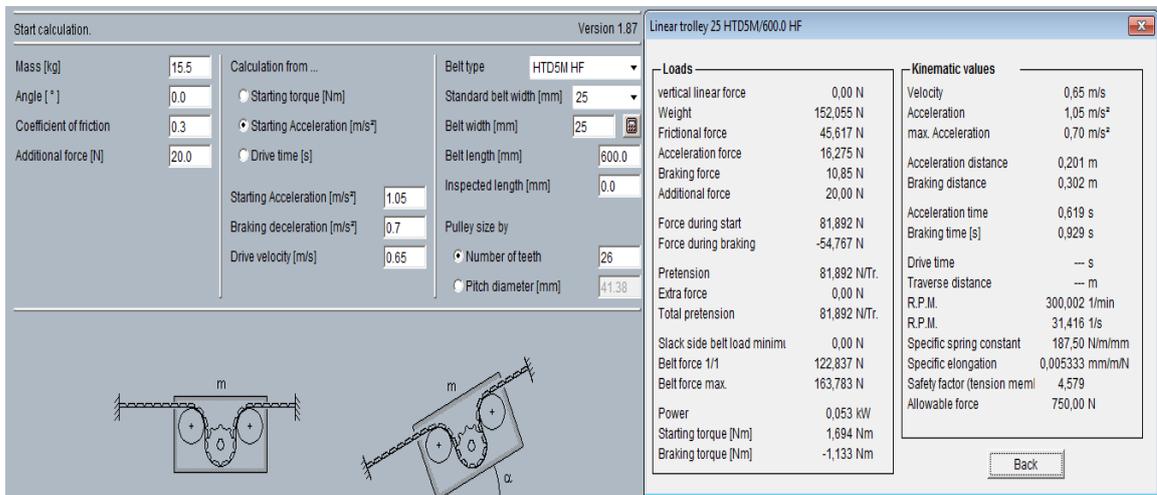
$$I_0 = z_b + P_b$$

**Ecuación 14-2** Número de dientes de la banda

Conocidos estos valores se ingresa al software de mulco **Mulco belt-pilot** y se obtiene los valores de torque y potencia necesaria para generar el movimiento.

El Eje Y tiene un sistema de configuración omega, en la figura 38-2 se muestra los valores obtenidos con el software los cuales indican que puede mover 15.5 kg y el ancho de banda

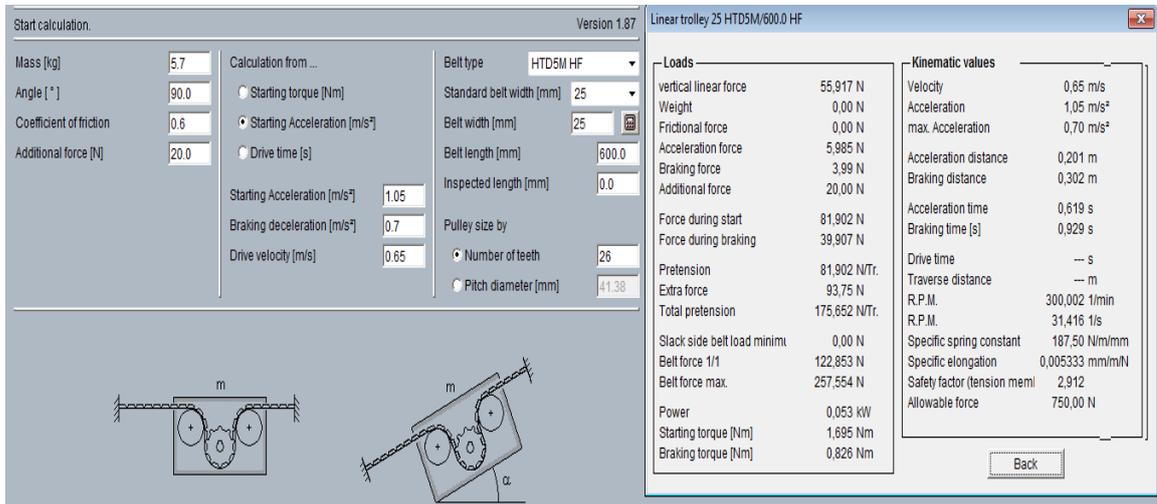
necesario es de 10mm, el número de dientes de la polea es de 26 y el diámetro de la polea 41.38mm y una velocidad de 1500rpm.



**Figura 38-2** Cálculo de valores del sistema omega eje y

Fuente: [http://mulco.neonaut-server2.de/fileadmin/redakteure/Dokumente/calculation/lineartechnik\\_en.html](http://mulco.neonaut-server2.de/fileadmin/redakteure/Dokumente/calculation/lineartechnik_en.html)

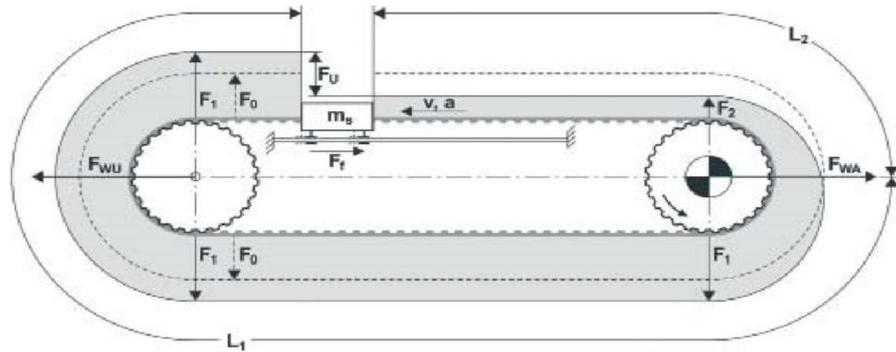
El Eje Z tiene un sistema de configuración omega vertical, en la figura 39-2 se muestra los valores obtenido con el software los cuales indican que puede mover 5.7 kg y el ancho de banda necesario es de 10mm, el número de dientes de la polea es de 26 y el diámetro de la polea 41.38mm y una velocidad de 1500rpm.



**Figura 39-2** Cálculo de valores del sistema omega eje z

Fuente: [http://mulco.neonaut-server2.de/fileadmin/redakteure/Dokumente/calculation/lineartechnik\\_en.html](http://mulco.neonaut-server2.de/fileadmin/redakteure/Dokumente/calculation/lineartechnik_en.html)

En la figura 40-2 se muestra el sistema de configuración de fuerza periférica y las variables que gobiernan el sistema, los cuales se encuentran para ingresar al software y determinar los parámetros para encontrar el motor necesario para mover la carga en el Eje X:



**Figura 40-2** Configuración de fuerza periférica.

Fuente: <http://www.mulco.net/content/en/download/res/34298-6.pdf>

La fuerza periférica  $F_U$  generada en la polea es la suma de todas las fuerzas que se resisten al movimiento incluyendo las que son externas estas pueden como no ser tomadas en el cálculo lo que permiten es hacer correcciones al movimiento.

Siguiendo el análisis de fuerzas en la figura 40-2 se determina la siguiente ecuación:

$$F_U = F_{Ua} + F_{Uf} + F_E + F_{Ui}$$

**Ecuación 15-2** Cálculo de fuerza en sistema de fuerza periférica

Donde:

$F_{Ua}$  = Es la fuerza requerida para la aceleración con la carga máxima.

$F_{Uf}$  = Es la fuerza de fricción provocada por los rieles.

$F_E$  = Es la fuerza externa aplicada en el trabajo.

$F_{Ui}$  = Es la fuerza que se requiere para levantar la carga.

La fuerza requerida para la aceleración está determinada por la siguiente ecuación:

$$F_{Ua} = m_s \cdot a$$

**Ecuación 16-2** Fuerza de aceleración con carga máxima

Donde:

$m_s$  = la carga máxima en (kg)

$a$  = Es la aceleración ( $m/s^2$ ).

En donde la aceleración es igual al cambio de velocidad en un período de tiempo:

$$a = \frac{\Delta v}{t}$$

**Ecuación 17-2** Fórmula de la aceleración.

La fuerza de fricción está determinada por el proveedor de rieles que se vaya a ocupar ya que existen diferentes tipos de rieles guías con diferentes fuerzas de fricción y para ocupar en distintos ambientes.

Las fuerzas externas no deben ser ignoradas ya que son principales en los cálculos previos a dar movimiento en condiciones extremas para que el sistema soporte cualquier eventualidad.

Las fuerzas para el levantamiento de carga en casos cuando la carga se desplazan de forma horizontal no se toman en cuenta, pero en el caso de que exista ángulo de inclinación se aplica la siguiente fórmula.

$$F_{Ui} = g \cdot m \cdot \sin \alpha$$

**Ecuación 18-2** Cálculo de fuerzas externas en un sistema de transmisión

En donde:

**$g$**  : Es la gravedad.

**$m$**  : Es la masa a mover.

**$\sin \alpha$**  : Es el ángulo de inclinación con respecto al sistema de referencia.

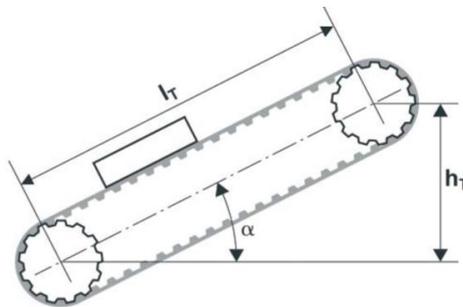
$$\sin \alpha = \frac{h_t}{I_t}$$

**Ecuación 19-2** Cálculo de ángulo de inclinación en un sistema de referencia.

**$h_t$**  Es la altura de elevación con respecto al eje de referencia

**$I_t$**  Es la longitud del desplazamiento de la carga y

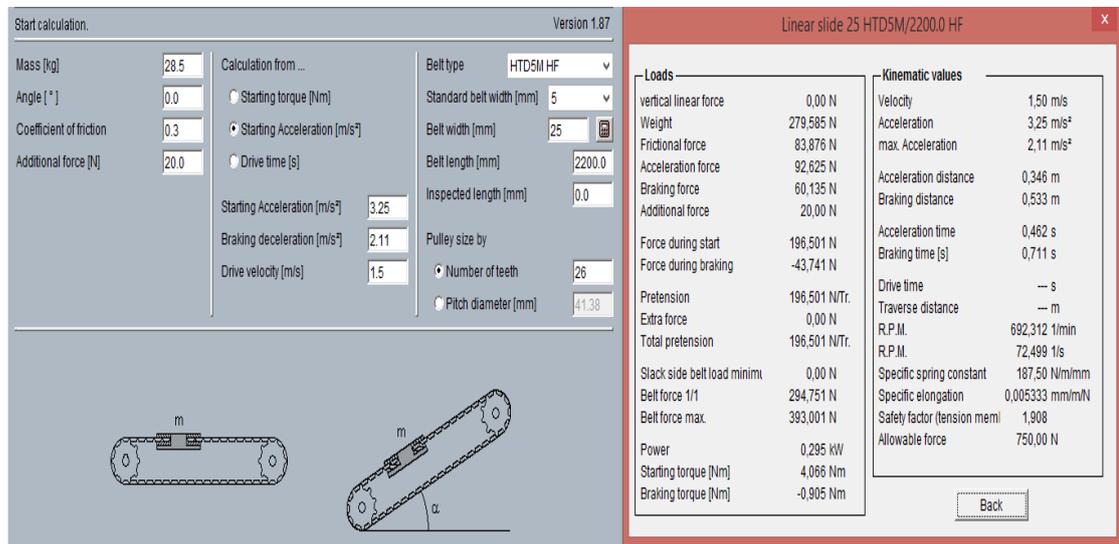
**$\alpha$**  Ángulo de inclinación además de estar rigidos por la siguiente figura 41-2.



**Figura 41-2** Variables de la fuerza  $F_{Ui}$

Fuente: <http://www.mulco.net/content/en/download/res/34298-6.pdf>

En el Eje X la configuración es por fuerza periférica, en la figura 42-2 se muestra los valores obtenidos con el software los cuales indican que puede mover 28.5 kg y el ancho de banda necesario es de 10mm, el número de dientes de la polea es de 26 y el diámetro de la polea 41.38mm y requiere una velocidad de 3000rpm.



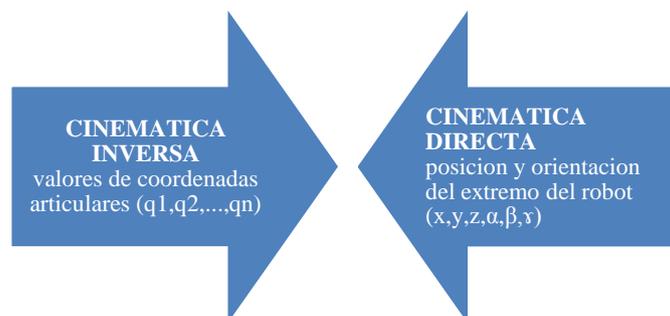
**Figura 42-2** Cálculo de valores del sistema omega eje x

Fuente: [http://mulco.neonaut-server2.de/fileadmin/redakteure/Dokumente/calculation/lineartechnik\\_en.html](http://mulco.neonaut-server2.de/fileadmin/redakteure/Dokumente/calculation/lineartechnik_en.html)

En los tres casos se aplica las mismas fórmulas para establecer el torque necesario para mover la carga pre-diseñada y los límites a los cuales puede trabajar en condiciones normales y forzadas si el caso lo requiere.

## 2.34. Cinemática

Dentro del análisis de robots manipuladores se determinan mediante sus variables que lo conforman, tal es la posición y la orientación con las cuales nos dan dos tipos de interpretación a la cinemática como es la directa y la inversa como se muestra en el Gráfico 4-2.



**Gráfico 4-2-Cinemática del robot**

Realizado por: Salazar Mónica, Urbano Christian

Para el análisis de la cinemática, las variables se detallan en la tabla 5-2 en el cual se asigna las variables con las cuales se identifica a los eslabones:

**Tabla 5-2** Asignación de variables a los eslabones

L1	Longitud del primer eslabón.
L2	Longitud del segundo eslabón.
L3	Longitud del tercer eslabón.

**Realizado por:** Salazar Mónica, Urbano Christian

Esta forma de cinemática es aquella que para obtener las variables principales como la orientación y la posición del efector final es necesario establecer un marco referencial fijo como lo es un plano cartesiano para el cual la referencia puede estar dentro o fuera del robot.

#### **2.34.1. Modelo cinemático directo**

Al conocer los valores de los eslabones y parámetros geométricos que intervienen en el robot, en este modelo consiste en obtener la orientación y la posición del efector final con respecto a su propia base, para lo cual se plantean soluciones numéricas para determinar la función con la cual se controla el movimiento de sus eslabones hasta la posición y orientación previamente configurada.

#### **2.34.2. Modelo cinemático inverso**

En este tipo de modelo se pretende encontrar los valores que se generan entre los eslabones con el propósito de extraer la posición y orientación deseada, este modelo posee diversas soluciones para resolver el problema de ubicación del efector final tales como: métodos geométricos, desacoplo cinemático, matrices de transformación homogénea entre otras.

### **2.35. Modelo dinámico**

Los robots manipuladores son sistemas mecánicos articulados formados por eslabones conectados entre sí a través de uniones o articulaciones.

Las articulaciones son de dos tipos traslacionales o rotacionales, los robots son considerados cadenas cinemáticas por lo cual se hace grandes ecuaciones de segundo orden en cada terminación de cada articulación. Estas ecuaciones se expresan como:

$$f(q, \dot{q}, \ddot{q}, \tau) = 0, \quad (1)$$

$$f(x, \dot{x}, \ddot{x}, \tau) = 0, \quad (2)$$

**Ecuación 20-2** Ecuaciones de segundo orden para las articulaciones en un modelo dinámico

Donde aquí  $f(\dots)$  en (1) y (2) no es la misma, ni tampoco debe ser confundida con la relación  $f(q)$  del modelo cinemático directo y, finalmente  $\tau$  denota al vector fuerzas y pares en la articulación por medio de los accionadores. El modelo dinámico (1) recibe el nombre de modelo dinámico articular, mientras (2) es modelo dinámico cartesiano. (Kelly & Santivañez, 2003, p. 59)

Tanto la cinemática como la dinámica son fundamentales para planear y llevar a cabo una aplicación específica para un robot manipulador, el modelo cinemático y dinámico se tratan minuciosamente para llevar el modelo robótico de la parte mecánica y ecuaciones robóticas establecidas. En si es un estudio de movimiento con las fuerzas requeridas para producirlo. Y está definido por la siguiente ecuación: (Pérez Mary, 2012, p. 54).

$$\tau = M(q, \dot{q})\ddot{q} + C(q, \dot{q})\dot{q} + g(q) + f(\ddot{q})$$

**Ecuación 21-2** Ecuación para el cálculo de torque ejercido para cada articulación.

Siendo:

$\tau$  = Torque ejercido por cada articulación.

$q$  = Vector de variables articuladas.

$M(q, \dot{q})$  = Matriz de inercia.

$C(q, \dot{q})$  = Matriz centrífuga y de coriolis.

$g(q)$  = Vector gravedad.

$f(\ddot{q})$  = Propiedades de la dinámica residual.

### 2.35.1. Modelo dinámico inverso

En la figura 43-2 muestra la configuración de las fuerzas y los pares que intervienen en la función de movimiento de las coordenadas articulares y sus derivadas.



**Figura 43-2** Modelo de Control dinámico inverso.  
Fuente: (Pérez Mary, 2012, p. 55)

### 2.35.2. Modelo dinámico Directo

La figura 44-2 expresa la evolución temporal de las coordenadas articulares de robot en función de las fuerzas y pares que intervienen en cada una de las articulaciones.



**Figura 44-2** Modelo de Control dinámico directo.  
Fuente: (Pérez Mary, 2012, p. 55)

El modelo matemático dinámico del robot no se obtuvo ya que su análisis está en un campo más complejo, para suplir esa necesidad se desarrolla en Msc Adams el cual permite conocer las fuerzas y el torque que se ejerce sobre el robot.

### 2.36. Modelo geométrico directo del robot

Cálculo de las matrices de transformación.

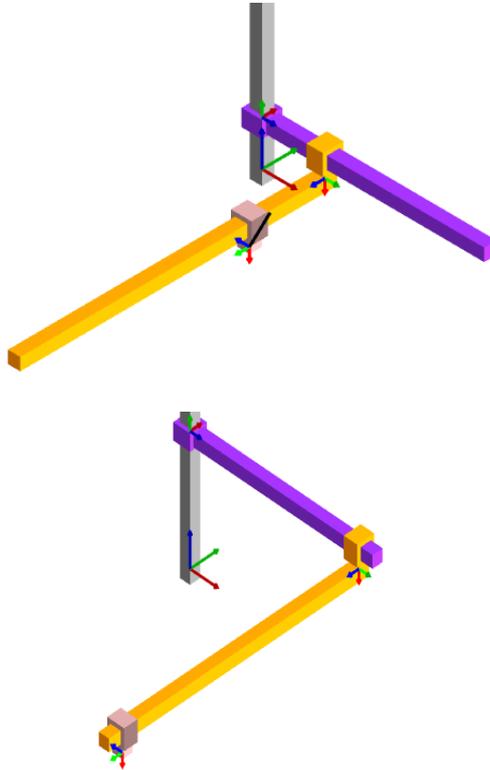
Una matriz de transformación homogénea es la representación de ubicación en un sistema de coordenadas ligado a un sólido con una referencia a un plano cartesiano. En este tipo de matrices se aplica el algoritmo de Denavit-Hartenberg, metodología matricial que permite establecer concatenación en un sistema de coordenadas ligado a cada uno de los eslabones de una cadena articulada, con las cuales podemos determinar los parámetros detallados en la tabla 6-2, donde se muestra los parámetros obtenidos del robot: (K.S.Fu, et al., 1988).

**Tabla 6-2** D-H robot cartesiano

Eslabón	$\Theta$	$\alpha$	$d_i$	$a$
1	$\pi/2$	$\pi/2$	D1	0
2	$-\pi/2$	$\pi/2$	D2	0
3	0	$\pi/2$	D3	0

**Realizado por:** Salazar Mónica, Urbano Christian.

De acuerdo a los parámetros mencionados en la tabla de parámetros de Denavit-Hartenberg (D-H) se determinan las matrices de transformación homogénea para cada uno de los eslabones en el robot. En la figura 45-2 se muestra el movimiento que ejerce el robot con los parámetros obtenidos previamente además el desplazamiento del mismo es el espacio.



**Figura 45-2** Modelo de Control dinámico inverso.

**Fuente:** (Pérez Mary, 2012, p. 55)

$${}^0H_1 = \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & d1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix}$$

$${}^1_2H = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & d2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$${}^0_2H = {}^0_1H {}^1_2H = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ -1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & d2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$${}^3_2H = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & d3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$${}^1_3H = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & d1 \\ 0 & 0 & 1 & d3 \\ 0 & -1 & 0 & d2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

**Ecuación 22-2** Matriz homogénea.

En la figura 45-2 se comprueba el comportamiento de la matriz homogénea obtenida previamente además de darnos la interpretación en el manejo del espacio en que se va a movilizar el robot.

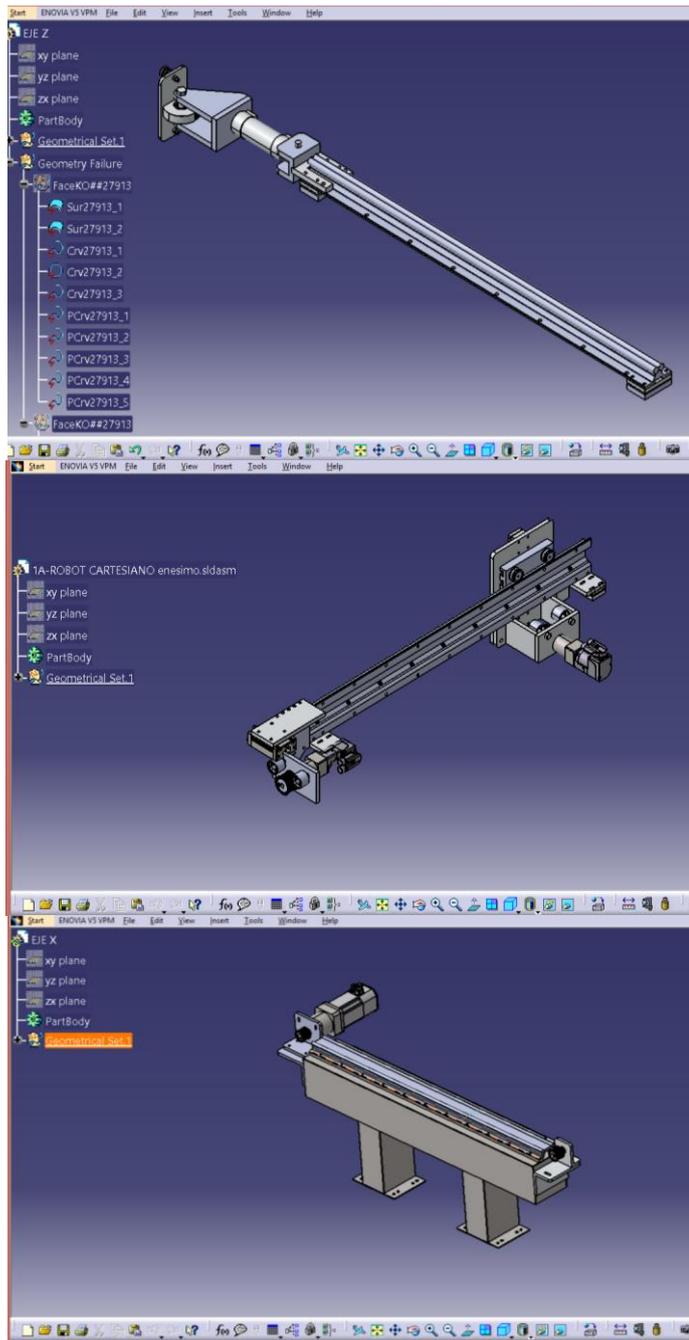
Desplazamiento del efector final.

$$T = \begin{bmatrix} n_x & o_x & a_x & p_x \\ n_y & o_y & a_y & p_y \\ n_z & o_z & a_z & p_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

**Ecuación 23-2** Manejo del espacio de movimiento del efector final

### 2.37. Modelo de simulación en Catia

En este apartado es donde se muestra la construcción de las piezas basado en las dimensiones de la estructura real del robot de configuración cartesiana, gracias a las herramientas que ofrece el software CATIA se realiza el moldeo, a continuación, las piezas de diseño que se llamarán EJE X, EJE Y, EJE Z se muestran en la figura 46-2 que indica el moldeo de los ejes en la consola de Catia v5.



**Figura 46-2** Partes del robot cartesiano software Catia  
 Realizado por: Salazar Mónica, Urbano Christian

Como primera etapa de la simulación se ejecuta el programa y con la barra de herramientas ejecutamos el diseño mecánico y se crea las piezas con las características del robot. Una vez creadas las piezas se le agrega las características de las mismas como el material con el que fue creado y se le guarda en formato PARASOLID<sup>23</sup> o IGES<sup>24</sup>.

---

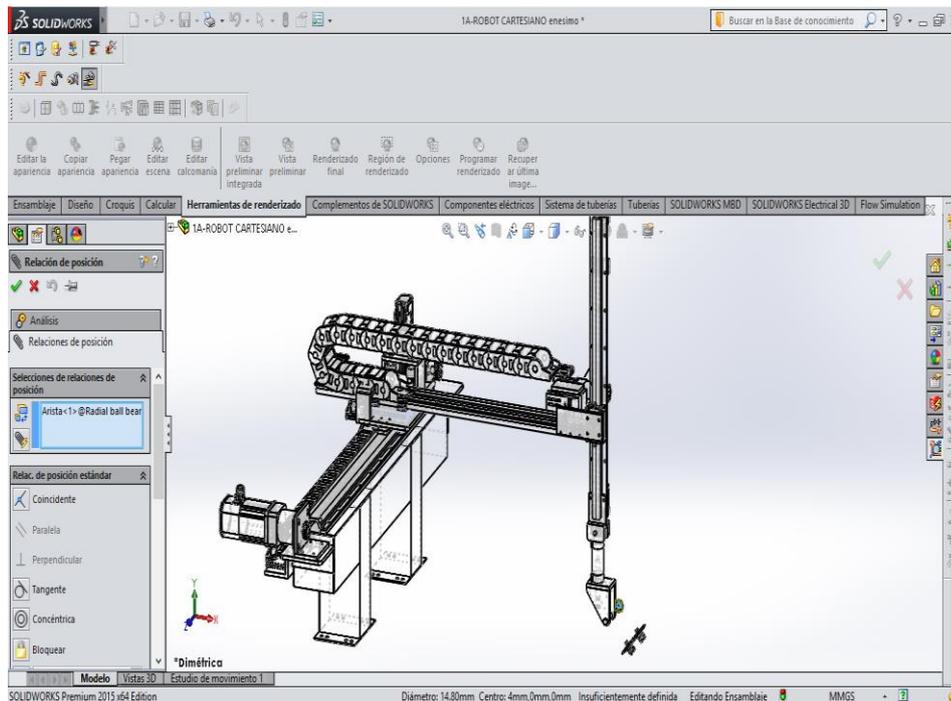
PARASOLID: formato de archivo para SOLIDWORKS incluyen herramientas para edición en el modelo directo.

IGES: es una extensión de archivo con el cual permite intercambiar información de un diseño asistido por computador donde exporta todas las propiedades físicas de los sólidos importados.

### 2.38. Modelo de simulación en Solidworks

El sistema de piñón cremallera y el sistema de simulación omega de bandas con configuración omega y de fuerza periférica son las que se crean en SOLIDWORKS. Teniendo en cuenta la simetría y distancias con las piezas creadas en CATIA.

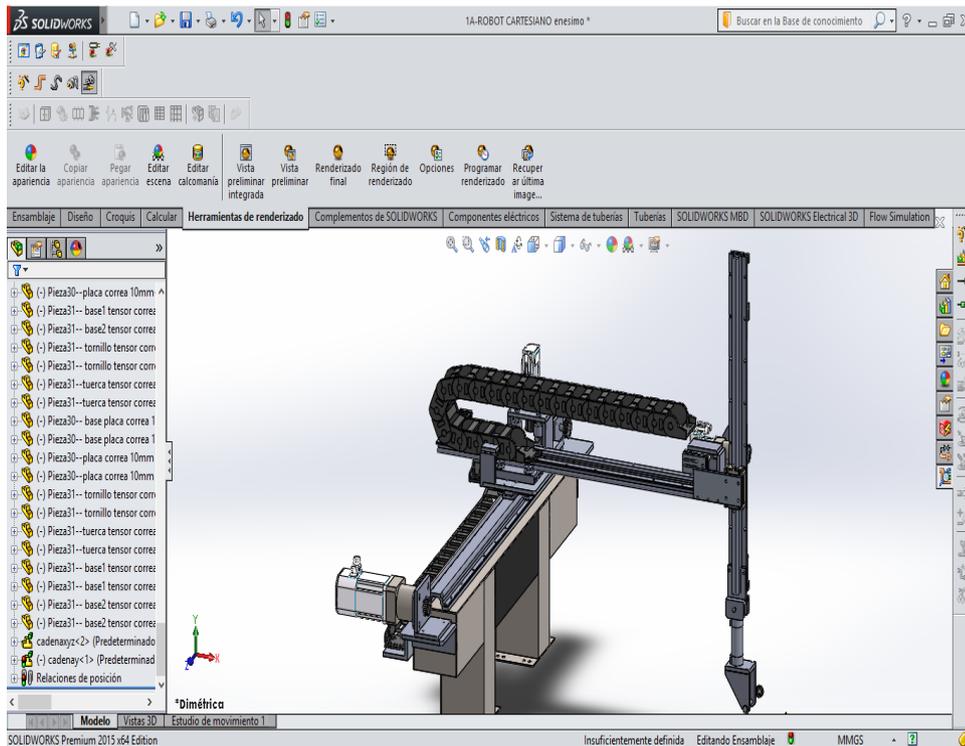
Como primera fase abrimos el entorno grafico para el diseño de las piezas restantes del robot cartesiano. Se crean las bandas con sus respectivas atracciones mecánicas que se necesita, en la figura 47-2 se encuentra el ensamble de las piezas restantes del robot.



**Figura 47-2** Modelo de simulación en SOLIDWORKS

**Realizado por:** Salazar Mónica, Urbano Christian

Una vez importada las piezas se ejecuta las relaciones respectivas con el fin de ensamblar las mismas en una sola estructura quedando de la siguiente manera, en la figura 48-2 muestra el ensamble de las piezas de Catia en Solidworks en el cual coloca las propiedades de los mismos.

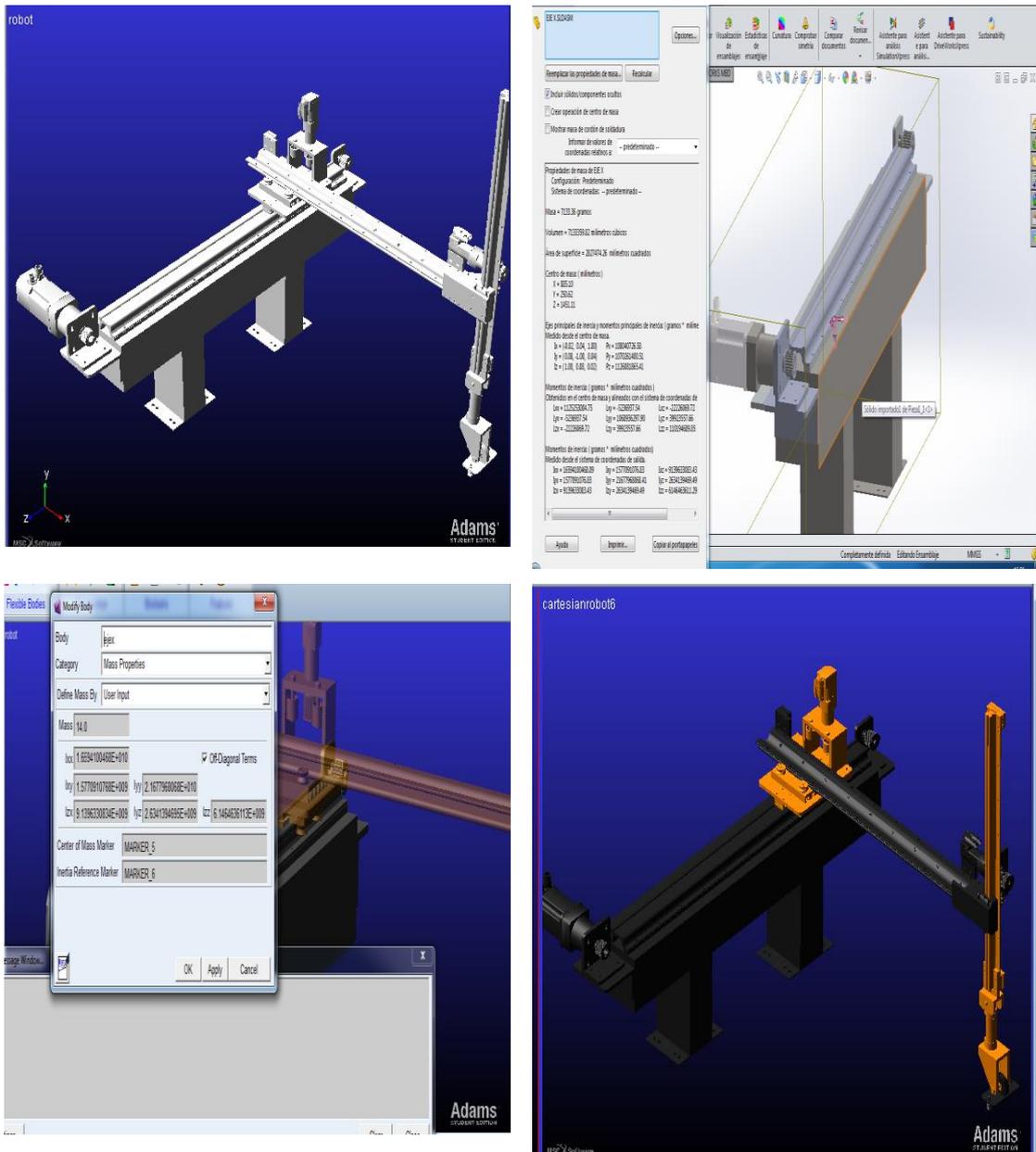


**Figura 48-2** Ensamble en SOLIDWORKS  
**Realizado por:** Salazar Mónica, Urbano Christian

Para finalizar todo el modelo ha sido guardado en el formato PARASOLID altamente usado para aplicaciones de diseños asistidos por computador para conservar las propiedades físicas de cada pieza, además de ser compatible con Adams.

### 2.39. Modelo de simulación en Msc. Adams

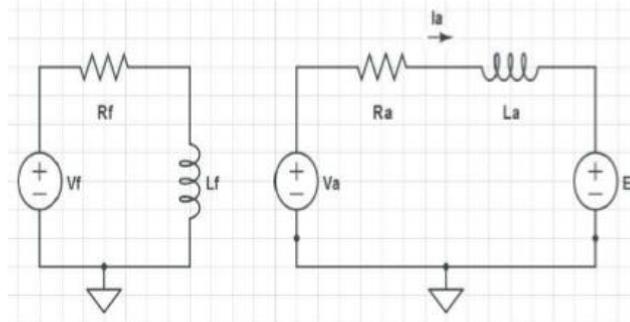
El ensamble se importa a Msc. Adams, este es el encargado de obtener el sistema dinámico del robot teniendo en cuenta las propiedades físicas, en la figura 49-2 se muestra los pasos para importar los archivos sin ningún problema.



**Figura 49-2** Importación De SOLIDWORKS A Msc ADAMS.  
**Realizado por:** Salazar Mónica, Urbano Christian

### 2.40. Modelo de Co - Simulación y estrategias de control

Uno de los primeros pasos para realizar es la de agregar las características, propiedades físicas de los servomotores, además conocer los pesos de los eslabones y la ubicación de volumen de trabajo, se propone un análisis de torques o pares en distintos escenarios en los cuales se observa el comportamiento obteniendo esfuerzos mínimos y los valores que permiten seleccionar con certeza el motor.



**Figura 50-2** Circuito básico de un motor.  
**Fuente:** (Pérez Mary, 2012, p. 56)

Aplicando las leyes de Kirchhoff, se obtiene las ecuaciones del circuito, se aplica Laplace para facilitar el desarrollo y obtener la función de transferencia requerida siendo la siguiente:

$$\lambda_e = \lambda_m$$

$$v_a(s) = R I_a(s) + S L_a(s) + E_b(s)$$

$$I_a = \frac{v_a(s) - E_b(s)}{R + S L_a(s)}$$

$$\lambda_e(s) = K_t I_a(s)$$

$$\lambda_e(s) = K_t \frac{v_a(s) - E_b(s)}{R + S L_a(s)}$$

$$E_b(t) = K_v \omega(t) \quad E_b(t) = K_v S Q(t)$$

**Ecuación 24-2** Función de transferencia

Donde:

- $\lambda_e$  = es el torque o par eléctrico.
- $\lambda_m$  = es el torque o par magnético.
- $K=K_t=K_v$  = son constantes de fuerza electromotriz.
- $v_a$  = voltaje.
- $I_a$  = corriente generada.
- $L_a$  = inductancia del motor.
- $R$  = resistencia del motor.

Los valores encontrados permiten hacer una selección de servomotores ideales para el movimiento del robot.

### 2.41. Escenario 1

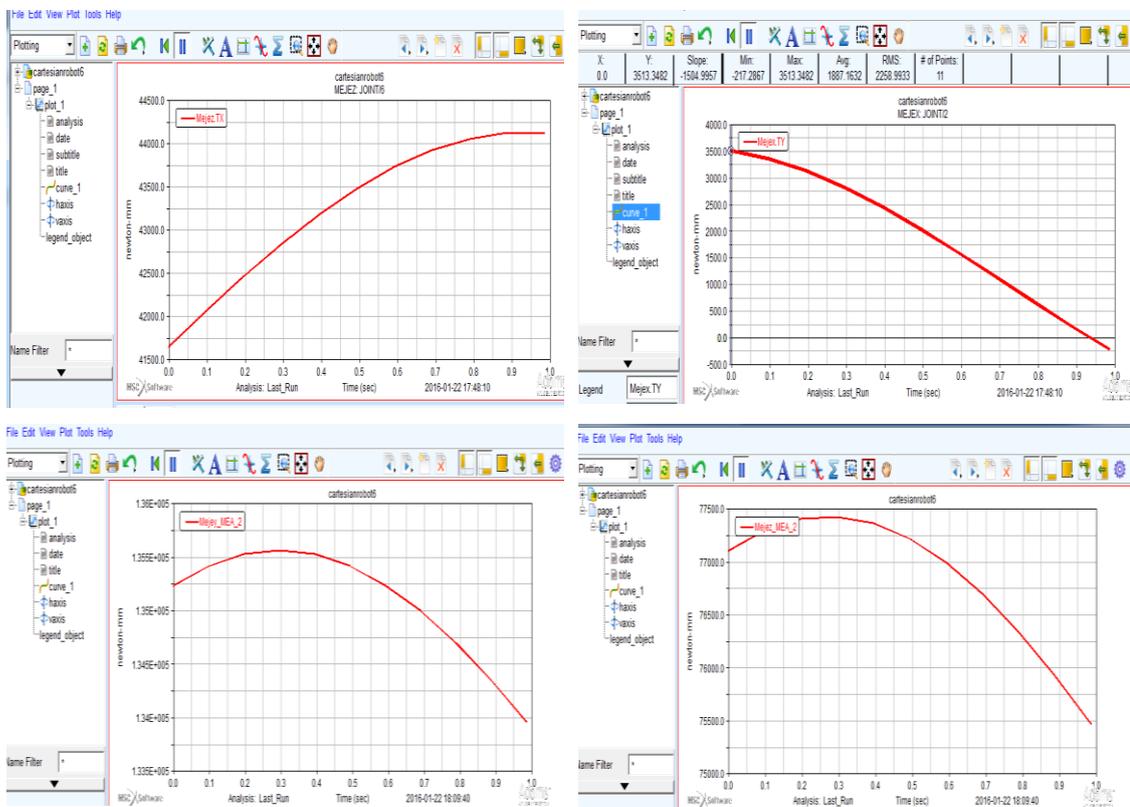
Se concentra en mover las posiciones del eslabón al final de su trayectoria,

Al igual que el sistema de efector final en la Figura 51-2 se muestra la trayectoria de movimiento real que realiza el robot en el software Msc Adams el cual nos dará el análisis dinámico del mismo.



**Figura 51-2** Movimientos de estudio  
Realizado por: Salazar Mónica, Urbano Christian

Configuramos los MOTION respectivos para realizar el movimiento de desplazamiento de los ejes y obtenemos el valor de la velocidad y la cantidad de esfuerzo requerido para mover los eslabones como se muestra en la Figura 51-2.



**Figura 52-2** Valores de esfuerzo de movimiento en sus ejes  
Realizado por: Salazar Mónica, Urbano Christian

En la Figura 52-2 se puede ver los pares, velocidades y posición, dando resultado a la cantidad de esfuerzo requerido, el que más par tiene es el del eje x debido a que sostiene a los dos ejes y además el efector final con esto se tiene el torque máximo requerido. Estos datos permiten realizar la Tabla 7-2 que entrega los valores de torque y torque de parada los cuales son elementos primordiales para la elección correcta de un servomotor.

**Tabla 7-2** Características de los eslabones

Articulación	Posición inicial(mm)	Posición final (mm)	Torque (N.m)	Torque de parada (N.m)
L1	10	835	1,69	-1,33
L2	10	535	1,694	-0,85
L3	15	550	4,056	-0,905

Realizado por: Salazar Mónica, Urbano Christian

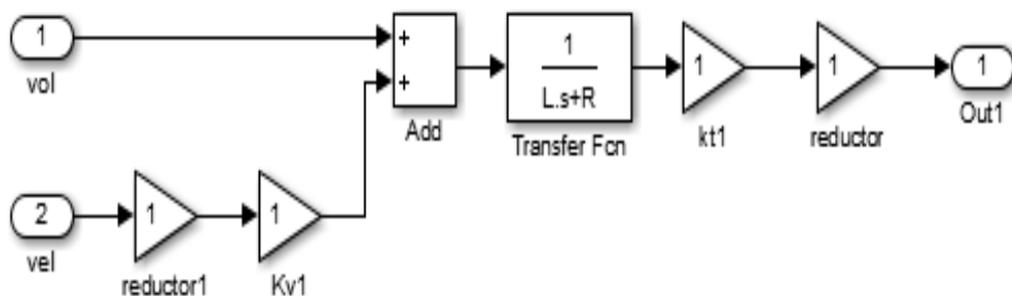
En la Tabla 8-2 se muestra las características de los servomotores colocados en el robot cartesiano con el par nominal y su código de descripción.

**Tabla 8-2** Características de los motores ubicados en el robot cartesiano

Nombre	Par_max (N.m)	R( $\Omega$ )	L(mH)	K(N.m/A)	Referencia
Motor eje z	1,0	17,4	30,7	0,42	8LVA13.ee015ffgg-0
Motor eje y	1,0	17,4	30,7	0,42	8LVA13.ee015ffgg-0
Motor eje x	9,2	3,02	15,6	0,73	8LSA35.DA060S000-3

Realizado por: Salazar Mónica, Urbano Christian

En base a la tabla 8-2 se procede a representar el diagrama de control de un servo-motor con Matlab para obtener su simulación como se muestra en la figura 53-2 la cual indica el lazo de control de un servo motor agregando el reductor necesario para generar movimiento.



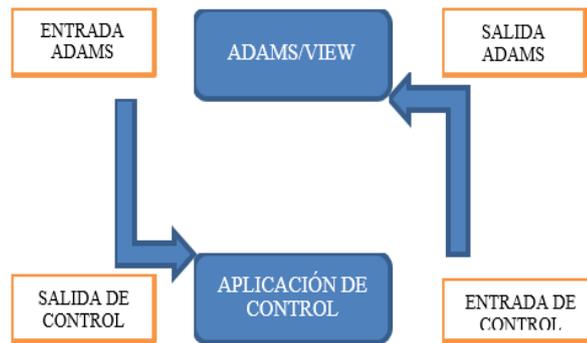
**Figura 53-2** lazo de control de un motor en Matlab.

Realizado por: Salazar Mónica, Urbano Christian

## 2.42. Modelo de Co-Simulación Adams MATLAB

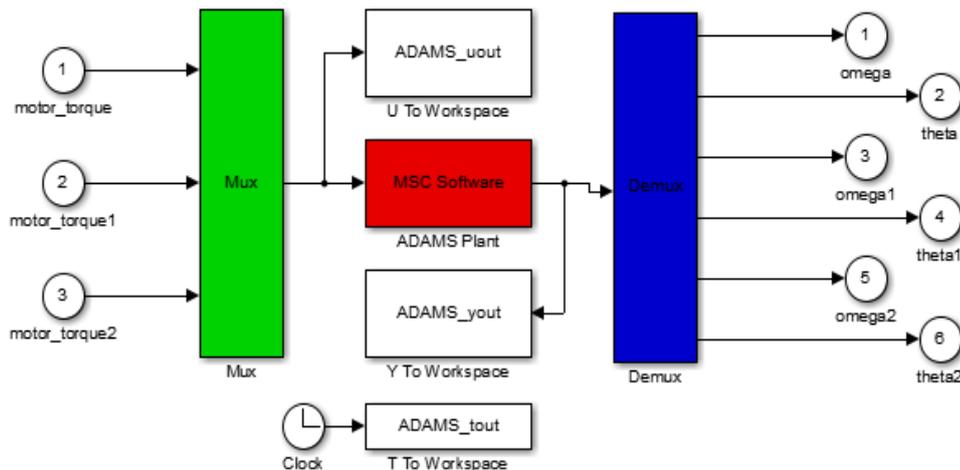
Se denomina Co-simulación entre estos dos sistemas debido a que existe una combinación de las entradas con las salidas de estos programas informáticos, por medio de la herramienta Adams-control<sup>25</sup>.

Una de las ventajas de este sistema es que incluye aplicaciones informáticas cooperando con las falencias que puede ser provocado en un sistema ya sea de manera intencional o del sistema en funcionamiento en condiciones normales, en la Figura 54-2 se muestra el diagrama de enlace para co-simulación entre Adams y Matlab.



**Figura 54-2** Sistema de entradas y salidas Adams-Matlab  
Realizado por: Salazar Mónica, Urbano Christian

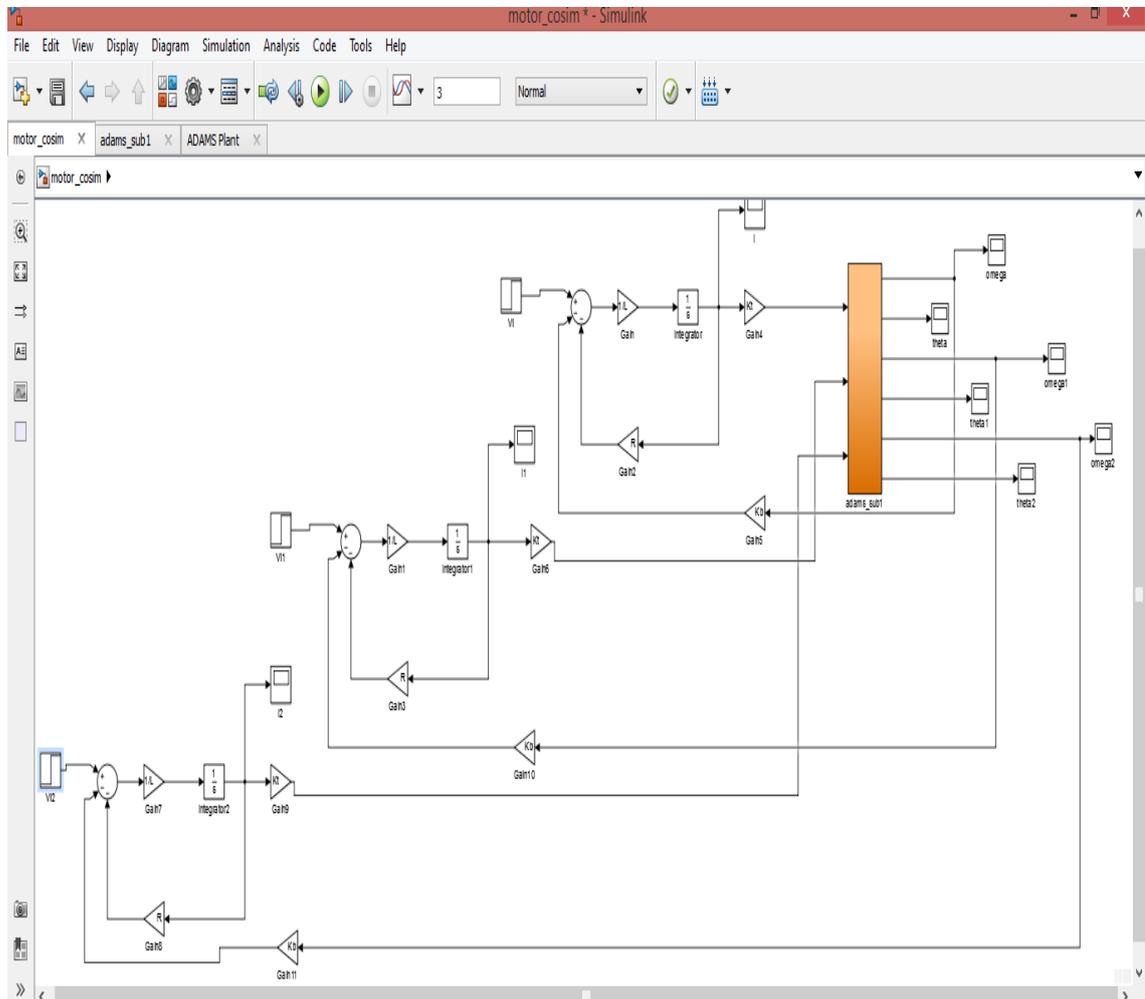
En la figura 55-2 se muestra las entradas y salidas a las cuales la Co - simulación estará regida aparte de que se crea una función de Adams Plant la cual es la que permite la generación de movimiento y el enlace con el Matlab.



**Figura 55-2** Sistema de Adams Plant  
Realizado por: Salazar Mónica, Urbano Christian

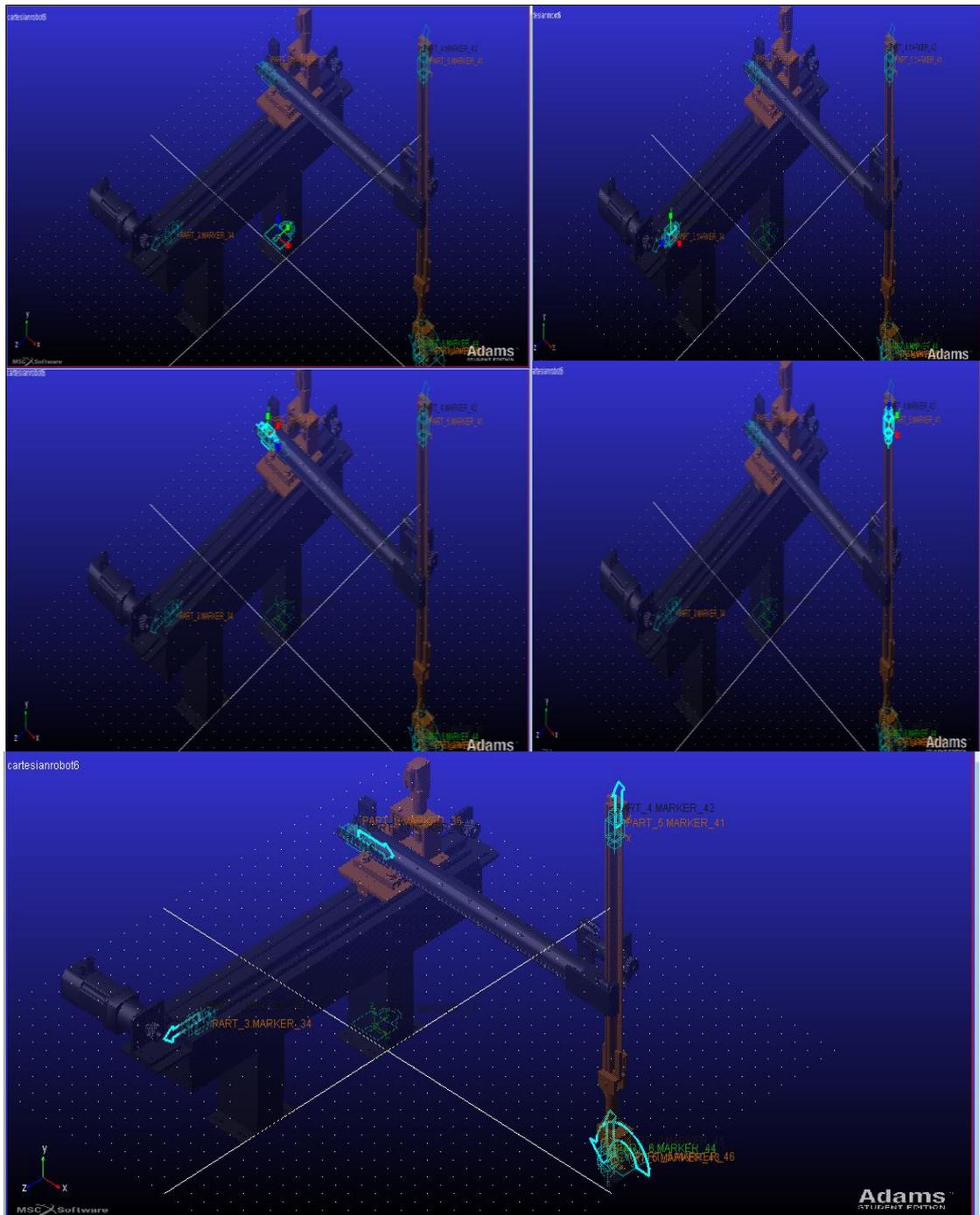
ADAMS/CONTROL: herramienta de Fácil integración de diseño mecánico de simulación del sistema y su sistema de control. Con el cual permite obtener su análisis dinámico sin ecuaciones previas.

La figura 56-2 muestra el diagrama de conexión en Simulink para el control de sus tres servomotores para generar el movimiento los cuales se crean con el entorno de Automation Studio.



**Figura 56-2** Diagrama de control Adams Matlab  
**Realizado por:** Salazar Mónica, Urbano Christian

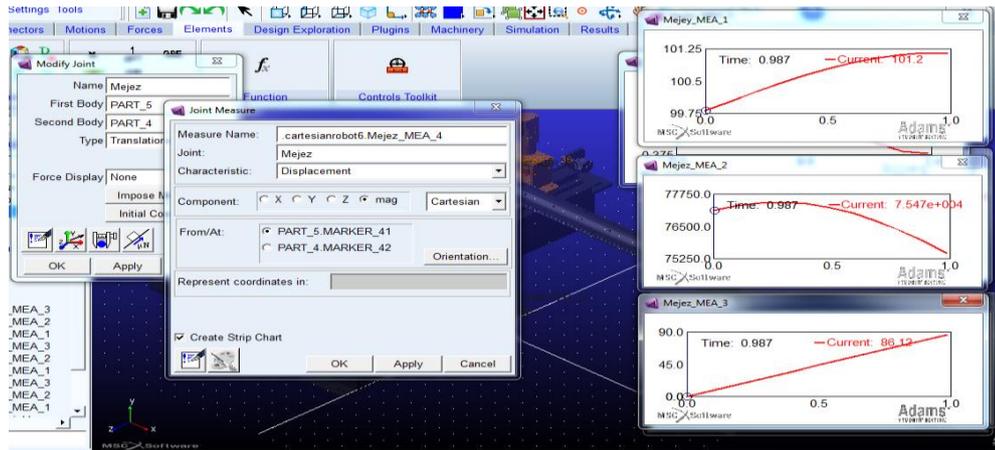
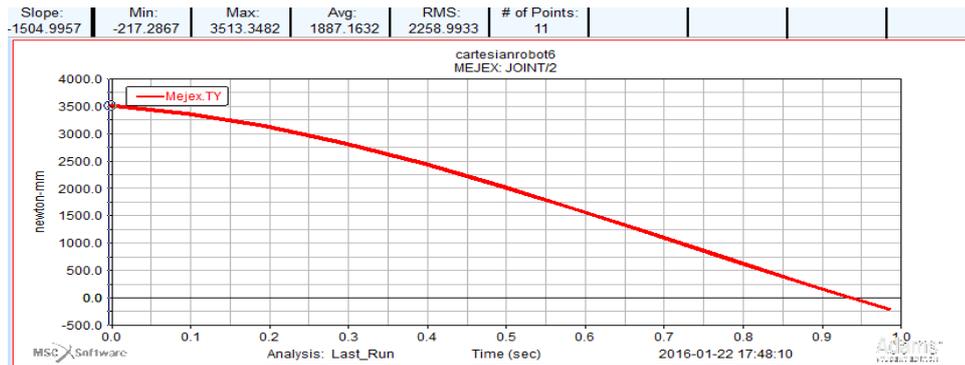
A continuación, se muestra al robot cartesiano teniendo las aplicaciones de Adams/view /control, como primera etapa se trabajó en ADAMS/VIEW con el cual se procede a colorar el movimiento en las articulaciones ocupando los Joins y la configuración de desplazamiento con el cual se desea generar el movimiento ya sean estos lineales o circulares como en el caso del efector final. En la Figura 57-2 se muestra la creación de los Joins en cada eje que se genera el movimiento, los cuales servirán de variables para ejercer un control sobre los mismos.



**Figura 57-2** Sistema de control de movimiento.  
**Realizado por:** Salazar Mónica, Urbano Christian

De esta manera se genera el desplazamiento en cada eslabón con el cual se dimensiona el espacio de trabajo del mismo.

Se ejecuta el primer desplazamiento con el movimiento de todos los ejes para interpretar la siguiente gráfica adquirida en la Figura 58-2 se visualiza todas las variables sujetas a estudio de la parte dinámica.



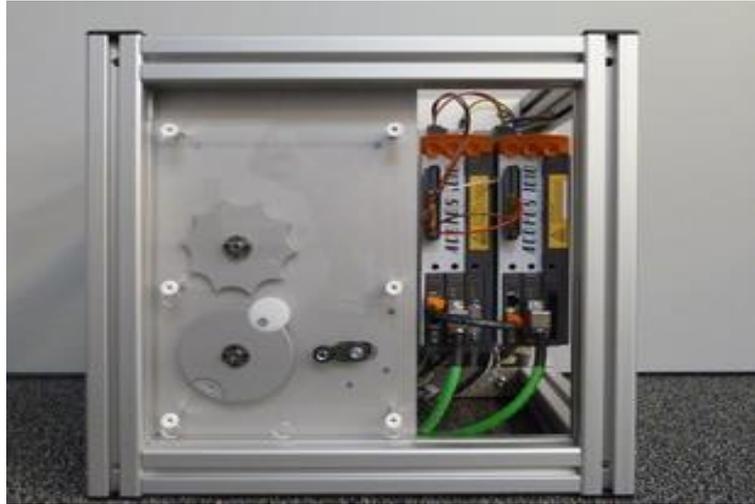
**Figura 58-2** Gráficas producidas durante la simulación en Adams.  
Realizado por: Salazar Mónica, Urbano Christian

### 2.43. Tecnología de accionamiento MOTION CONTROL *ETA410.0100-110*.

La tecnología *ETA410.0100-110* en su avance gradual en el control del movimiento es una de las características más relevantes por la cual se ocupa esta librería de MOTION CONTROL debido a su alto rendimiento. En el sistema de servo accionamientos ACOPOS y motores síncronos son combinados con el fin de tener un procedimiento compacto, permite la representación realista en las aplicaciones que se colocan en los ejes, el final de la carrera de hardware permite funciones de disparo en diversos procedimientos de HOMING<sup>26</sup> a ensayar en la solución de una unidad.

Con esto se puede hacer referencia a través de finales de carrera hardware con el fin de demostrar diversas funciones de disparo con programación PLCopen,<sup>27</sup> todas las funcionalidades de los ACOPOS son explotados con la biblioteca de PLCopen los cuales Permiten realizar movimientos absolutos o relativos que puede ejecutar un arranque inicial desde el ACOPOS permitiendo instalar actualizaciones de software y pruebas de conducción. Su alimentación es de 24 VCC

HOMING: son procedimientos en automatización para la autocorrección de errores generados.  
PLCopen: estándar de librerías que contiene la programación industrial para agilizar los procesos regidos a los estándares de programación orientado a objetos.



**Figura 59-2** Ejemplo de uso de Servo drivers

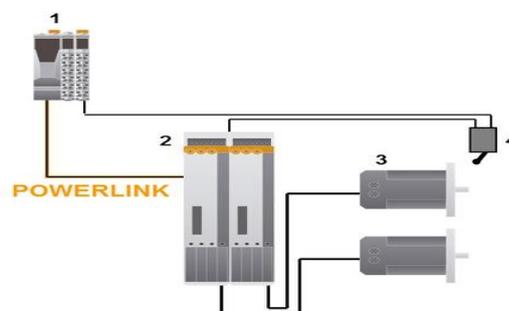
Fuente: <http://www.br-automation.com/es-es/formacion/eta-system/motion-control/eta4100100-110-acopos-drive-technology/>

#### 2.44. Topología

Los dos servo accionamientos ACOPOS están conectados con un acoplador de bus a través de POWERLINK. Los dos motores síncronos B&R son cada uno controlado por una unidad separada servo ACOPOS. El interruptor de límite de hardware integrado está conectado a uno de los dos servo accionamientos ACOPOS, así como un módulo de entrada digital conectada aguas abajo del acoplador de bus POWERLINK, en la Figura 60-2 se muestra un esquema de la topología de accionamientos similar a la ocupada en el robot .

Donde:

- 1 acoplador de bus de POWERLINK con módulo de entrada digital
- 2 servo accionamiento Acopos
- 3 motores síncronos
- 4 final de carrera para referenciar (Bernecker + Rainer Industrie Elektronik GmbH, 2015)



**Figura 60-2** Topología de accionamientos ETA410.0100-110<sup>28</sup>

Fuente: <https://www.br-automation.com/smc/b57d1c916ee1e66e4a7f7be351563c1bd03dd490.jpg>

ETA410.0100-110: Es un tipo de tecnología de accionamiento para Acopos de la marca B&R

## **CAPÍTULO III**

### **3. IMPLEMENTACIÓN DE LA TECNOLOGÍA Y ANÁLISIS DE RESULTADOS**

En el presente capítulo se detalla el proceso de construcción del robot con sus materiales y simulaciones, además del porqué de la estructura y forma; permitiendo mostrar sus componentes mecánicos eléctricos y electrónicos, además se explica la lógica de la programación, dónde se menciona los diferentes programas utilizados además de las conclusiones relacionadas con la sistematización del proyecto de titulación.

Tomando en cuenta la implementación de la tecnología MOTION CONTROL y POWERLINK para el control y la comunicación del robot siendo ésta la parte más importante, se procede a la obtención de datos y al análisis de resultados mediante inferencia estadística.

#### **3.1. Desarrollo del Robot**

En la contigua sección se presenta el diseño de los sistemas mecánicos y eléctricos que se utiliza para la construcción del robot industrial de configuración cartesiana.

Existen diferentes parámetros que interfieren en la construcción por lo cual se describe los siguientes:

La estructura del robot es de configuración cartesiana de tipo cantiléver el cual debe pasar las pruebas de estabilidad de material con el cual se procederá a elaborar las piezas para su ensamblado previo.

El robot contiene tres grados de libertad, los tres prismáticos sin ninguna interferencia y un efector final con mecanismo piñón cremallera.

El robot cartesiano cumple las normas de construcción que es portable en su totalidad para su fácil transporte.

Tanto el Eje Z como el Eje Y tienen un mecanismo de configuración omega mientras el Eje X contiene un sistema de esfuerzo periférico. Todos los ejes son controlados mediante dos opciones control automático y manual por cada eje.

El desplazamiento del Eje X su máxima distancia a recorrer es de 835mm, el Eje Y 535mm y el Eje Z 550mm. El efector final tiene dos posiciones que se activan con sistema ON/Off.

Los tres ejes poseen un sistema de sensores en sus extremos y su inicialización recorre su trayectoria debido a que los servomotores que contienen trabajan con RESOLVERS.

La velocidad de desplazamiento depende de la aplicación industrial demostrativa final y de la configuración que se le agregue en la pantalla sin exceder el peso máximo que puede manipular el sistema ni su velocidad.

### ***3.1.1. Estudio del Manipulador Robótico Cartesiano***

Dentro de los tipos en configuraciones de manipuladores cartesianos, se optó por la opción del robot tipo cantiléver, ya que este permite ahorrar espacio, debido a que ocupa de manera eficiente la mayor parte de su estructura interna.

Adicionalmente en esta estructura se debe hacer un análisis de equilibrio de sus ejes ya que podría dificultar la manipulación con la finalidad de que tenga estabilidad y ahorre espacio con respecto a otros modelos de cartesianos, por tanto, hay mayor estabilidad.

### ***3.1.2. Sistema Mecánico de Movimiento***

Este sistema está conformado por varios actuadores y transmisiones que generan movimientos en los ejes y su efector final, estos pasan las pruebas ideales para el funcionamiento en transmisión de movilidad por rieles con sistema de sujeción por bandas y poleas en configuración omega y por fuerza periférica para mover una carga, así como la del piñón cremallera que funciona con un sistema ON / OFF.

### ***3.1.3. Transferencia de Potencia***

En los sistemas de potencia se consideran el tipo de movimiento que va a realizar, en donde es probable que se genere potencia de movimiento lineal partiendo de un movimiento circular ya sea por correas dentadas, piñón cremallera, tornillo sin fin etc. Una vez determinado con cual se puede realizar el movimiento se procede a ubicarlo y hacer las pruebas de rendimiento para comprobar su funcionalidad.

### ***3.1.4. Actuadores en el robot cartesiano***

Hay una gran variedad de actuadores que permiten la transformación de la energía permitiendo realizar una acción, como los motores eléctricos que transforman la energía eléctrica de

suministro en movimiento. Debido a la configuración del robot industrial se ocupa servomotores además de contener un efector final con piñón cremallera accionado por un cilindro neumático.

Las opciones de actuadores se describen en la tabla 1-3 con características del robot.

**Tabla 1-3** Descripción de actuadores robot cantiléver

	<b>Actuador neumático.</b>	<b>Actuador eléctrico.</b>
<b>Fuerza generadora de movimiento</b>	Presión aire	Energía eléctrica
<b>Elemento motriz</b>	Cilindro neumático	servomotor
<b>Transmisión fuerza torque</b>	cremallera	reductor
<b>Conversión mecánica</b>	Piñón	Poleas - bandas

Realizado por: Salazar Mónica, Urbano Christian

En base a los parámetros de diseño del robot de configuración cartesiana se determina que para los ejes XYZ se emplea servomotores con servo drivers, ya que estos soportan torques altos debido a que todo el peso de la estructura está soportado sobre estos ejes.

Debido a los módulos de servo accionamiento que se dispone, se decide ubicar el circuito de control de los servomotores, ya que estos módulos tienen la capacidad de generar las señales requeridas por el mismo y poder realizar grandes configuraciones de control de diferente tipo.

En cuanto al efector final del manipulador robótico cartesiano, se elige un cilindro neumático que da movimiento a la cremallera del eje Z es de características de accionamiento ON/OFF, y no necesita de un controlador de velocidad.

### **3.1.5. *Proceso de fijación***

Los sistemas de fijación le dan al robot de configuración cartesiana la estabilidad necesaria además de su portabilidad de dicha estructura, es por esto que, para la base que soporta al manipulador robótico cartesiano, se utiliza perfiles de acero apernados y soldados, esto debido a que la estructura del manipulador robótico cartesiano debe ser robusto.

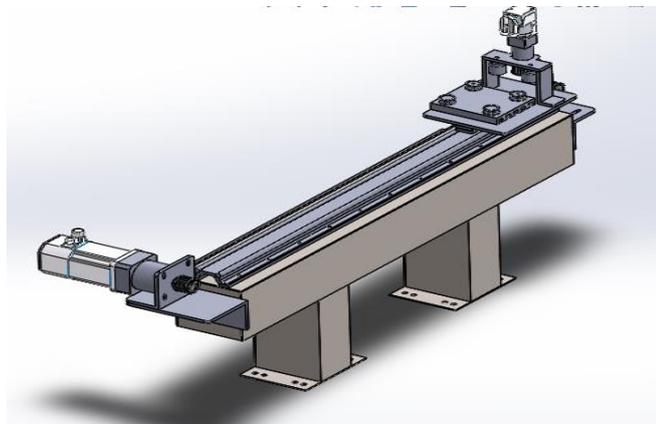
En cuanto al manipulador robótico cartesiano, se utiliza pernos y tuercas milimétricos para su sujeción, esto facilita el montaje y desmontaje mejorando su portabilidad la misma que da la mejora para cuando se requiera darse mantenimiento.

### 3.2. Estructura final

En este apartado se da paso a detallar los ejes que conforman el robot además de la simulación de los materiales ocupados en el software descritos en capítulos anteriores mostrando la adaptabilidad que contiene los materiales con los cuales se construye el robot. **Ver Anexo T.**

#### Diseño del eje X

En la Figura 1-3 se muestra la estructura del eje x donde se evidencia sus componentes.



**Figura 1-3** Eje X sistema final.  
Realizado por: Salazar Mónica, Urbano Christian

#### Diseño Eje y

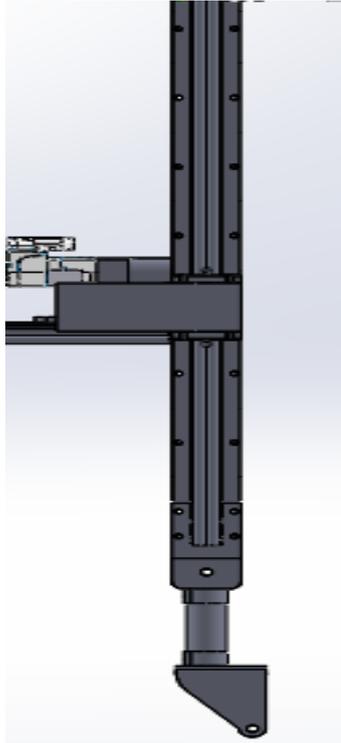
En la Figura 2-3 se muestra el diseño del Eje Y con sus características y elementos.



**Figura 2-3** Eje Y sistema final  
Realizado por: Salazar Mónica, Urbano Christian

#### Diseño Eje z

En la Figura 3-3 se muestra la estructura del eje z y sus componentes el cual tiene un desplazamiento vertical, además de contener el efector final de configuración piñón cremallera.



**Figura 3-3** Eje z sistema final.  
**Realizado por:** Salazar Mónica, Urbano Christian

### **Diseño del efector final**

En la figura 4-3 se muestra al efector final y sus componentes de piñón cremallera y el sistema de ventosas.



**Figura 4-3** Diseño efector final.  
**Realizado por:** Salazar Mónica, Urbano Christian

## Sistema omega del robot cartesiano

En la figura 5-3. Se muestra la configuración omega en el robot cartesiano. Este sistema contiene dos poleas auxiliares y la polea principal.

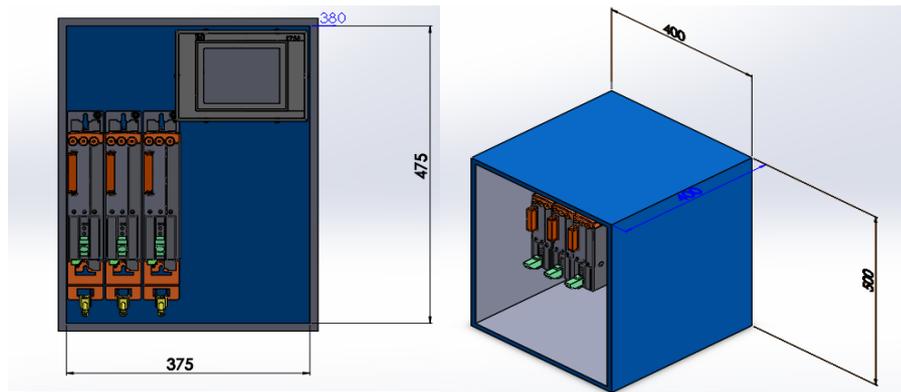


**Figura 5-3** Sistema omega en el robot cartesiano  
Realizado por: Salazar Mónica, Urbano Christian

### 3.2.1. *Tablero eléctrico.*

El tablero eléctrico contiene todo el sistema de protecciones de los circuitos es el encargado de proteger contra eventualidades como derrame de líquidos, ingreso de polvo y manipulación indebida.

Las dimensiones del gabinete eléctrico son determinadas en base al Panel y a los servo drivers (acopos1010) 201 posee dimensiones: 400.00mm de ancho y 300.00 mm de alto; el pc-panel y los ACOPOS están por encima del riel superior mientras los módulos de señales los cuales ocupan la riel superior del gabinete eléctrico, y con un espacio adicional para la ubicación de elementos eléctricos de control en una segunda riel DIN, finalmente se toma en cuenta espacios para la ubicación de canaletas alrededor de la estructura interna del gabinete, por donde pasará el cableado de conexión. La figura muestra las dimensiones y la estructura terminada. La figura 6-3 muestra las dimensiones del tablero eléctrico.



**Figura 6-3** Tablero Eléctrico.  
Realizado por: Salazar Mónica, Urbano Christian

La puerta del tablero es desmontable por lo consiguiente da fácil acceso a la manipulación a los controladores.

#### *3.2.1.1. Consola de control*

Esta consola está encargada del control además del fácil acceso del operador hacia los elementos de mando manual como: accionamiento de arranque de la estación, parada de emergencia.

Como toda consola debe estar regida a parámetros de construcción y con el criterio del diseñador, la consola al igual que el tablero de control debe poseer pulsadores de apagado en el mismo panel pc.

#### *3.2.2. Circuitos de control*

Aquí se describe los circuitos eléctricos que intervienen en el robot cartesiano se los expresa mediante diagramas de conexiones con el fin de tener los componentes eléctricos detallados para que puedan ser interpretados de manera oportuna cuando el caso lo requiera. En el circuito de protección eléctrica es para evitar posibles cortocircuitos por falla de la alimentación externa con el fin de proteger los elementos que componen al robot.

##### *3.2.2.1. Funcionamiento del circuito de alimentación externa*

El circuito de protección y alimentación externa se muestra en la Figura 7-3 y cuyo funcionamiento se describe de la siguiente manera:

La parada de emergencia se encuentra conectada directamente al PLC configurada al inicio de la programación en el panel, ya que esta no debe tener incidencia sobre el circuito de protección y alimentación.



3. Circuito de monitoreo: En este circuito se manejan elementos de monitoreo como son los sensores que permitirá la detección de los estados mecánicos del robot, principalmente la localización de los elementos móviles. Dando lugar a ocupar los siguientes tipos de sensores:
- Sensores inductivos: utilizados para detectar la posición de los ejes.
  - Sensores magnéticos: utilizados para el posicionamiento del cilindro neumático del efector final.

### 3.3. Programación

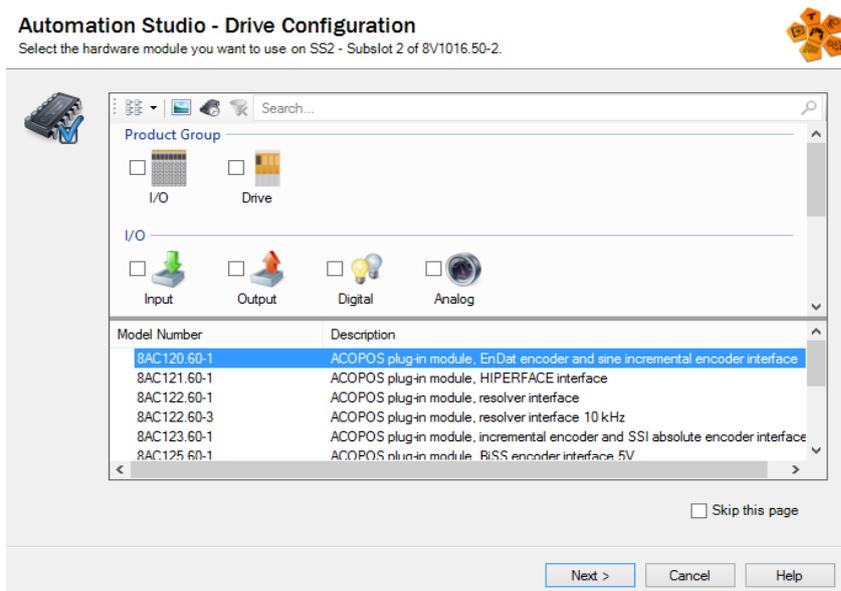
Este apartado muestra la secuencia que se debe seguir para realizar el control de las variables en el robot de configuración cartesiana.

Como primer paso se realiza la configuración de Ethernet POWERLINK en el programa, en este caso se ocupa protocolo de comunicación IPV4 estática y se asigna la dirección del PC industrial en la misma red del de la computadora, en la Figura 8-3 se muestra la configuración de POWERLINK en la consola de Automation Studio.

Connection name	Use in active co...	Source INA node number	Destination IP address	Destination host name
NewARsimConnection	<input type="checkbox"/>	1	10.0.0.1	
NewARwinConnection	<input type="checkbox"/>	1	192.168.0.2	
4PP065.0571-P74	<input type="checkbox"/>	1	10.0.0.2	

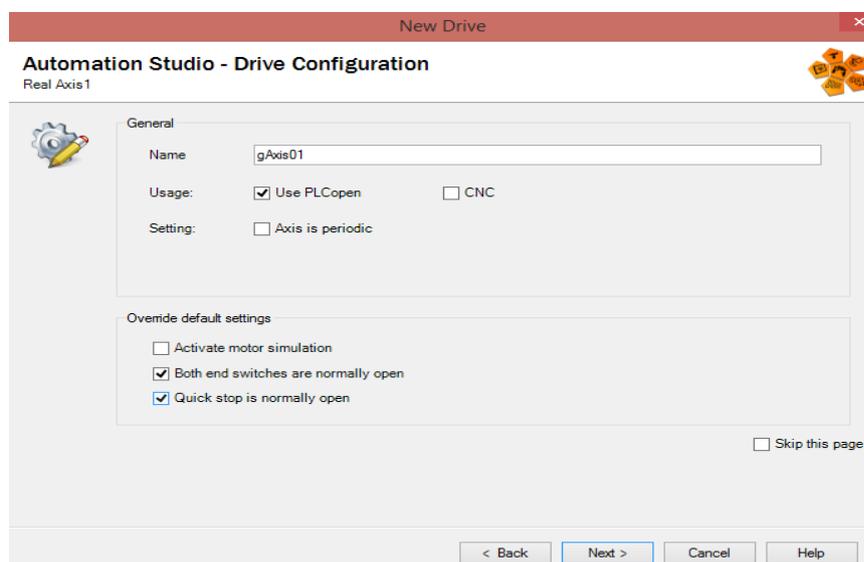
**Figura 8-3** Parámetros de configuración Ethernet Powerlink del autómeta.  
Realizado por: Salazar Mónica, Urbano Christian

Seguido se coloca los servo drivers en la consola PHYSICAL VIEW que se detalla en la Figura 9-3, de la siguiente manera:



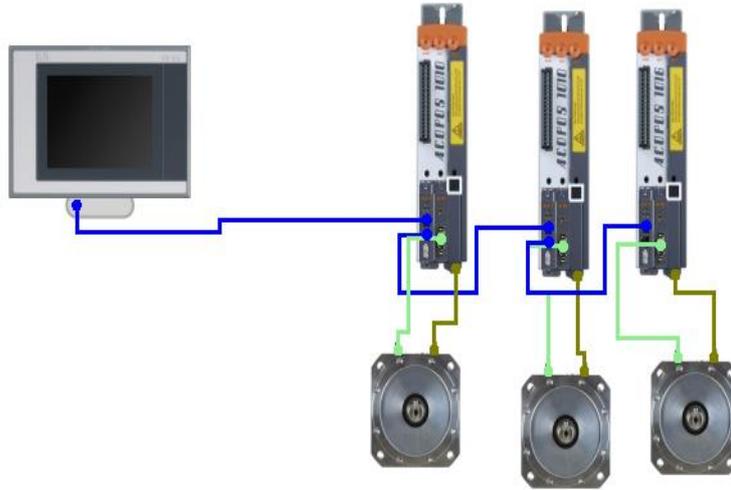
**Figura 9-3** Parámetros de configuración del Servo driver.  
Realizado por: Salazar Mónica, Urbano Christian

En los tres casos los servo drivers ocupan los controladores por resolver que son los AC122 60-3, además de seleccionar el motor con el cual se va a realizar el control. Colocando el nombre del eje el cual se va a crear como se indica en la Figura 10-3.



**Figura 10-3** Creación de los esclavos con asignación de eje.  
Realizado por: Salazar Mónica, Urbano Christian

Después se debe repetir dos veces más para completar los tres ejes del robot, lo cual se visualiza en la Figura 11-3.



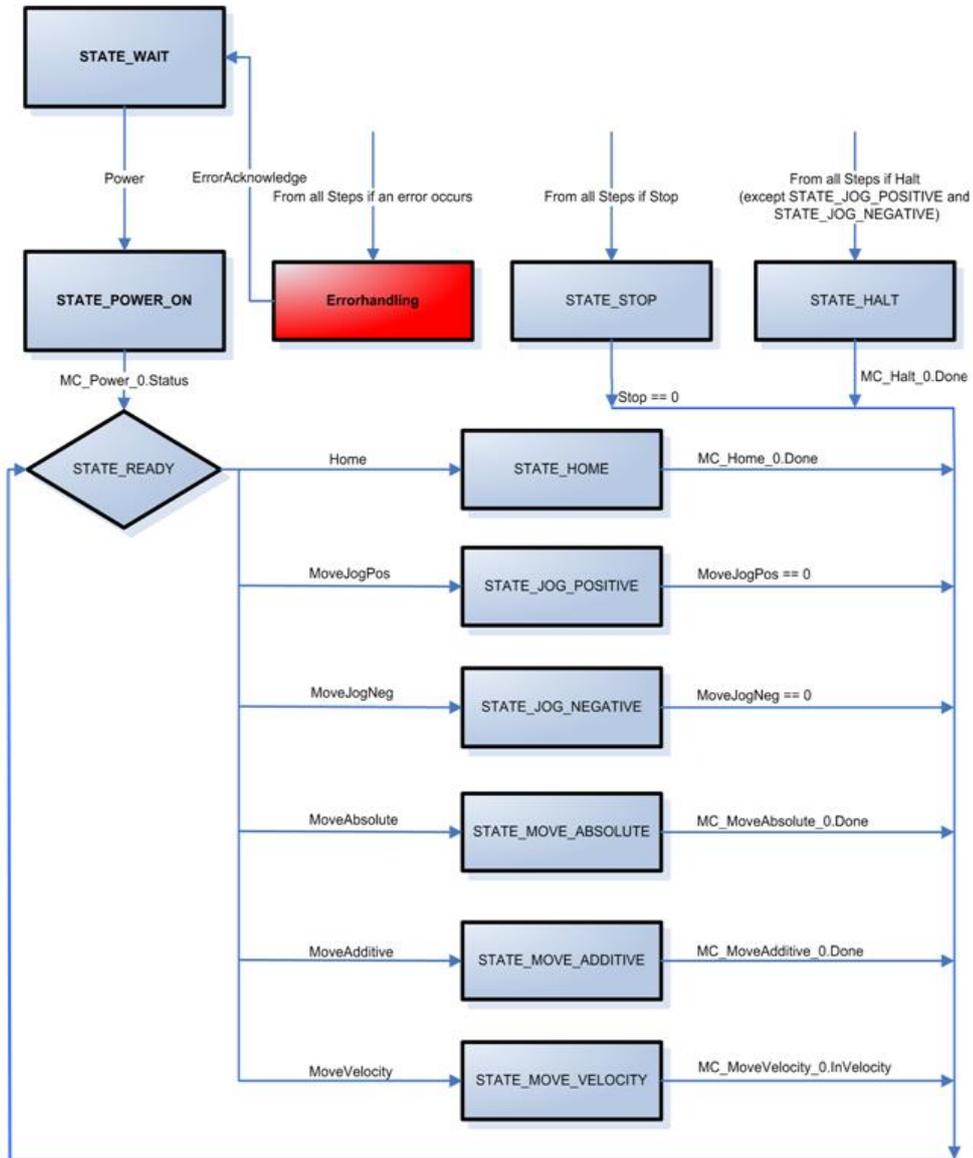
**Figura 11-3** Sistema de control robot cartesiano.  
**Realizado por:** Salazar Mónica, Urbano Christian

Declaración de variables, en este cuadro asignamos las variables que se ocupa en el programa, las declaramos globales para poder asignar en el mismo sistema, como se detalla en la Figura 12-3.

Name	Type	Constant	Retain	Replicable	Value	Description [1]
Y1	BOOL	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
Y2	BOOL	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
X1	BOOL	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
Z2	BOOL	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
Z1	BOOL	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
X2	BOOL	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
homing	BOOL	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
P2	BOOL	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
P1	BOOL	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
Move_absolútez	BOOL	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
Move_absolútey	BOOL	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
Move_absolútez	BOOL	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
Move_Activox	BOOL	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
Move_Activiz	BOOL	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
pistonbaja	BOOL	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
pistonsube	BOOL	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
Move_Activiy	BOOL	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
V1	BOOL	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
vertosaabre	BOOL	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
vertosacierra	BOOL	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
inicio	BOOL	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
Num_ciclo	USINT	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
powerenservos	BOOL	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
Fin_ciclo	BOOL	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
HomeZ	BOOL	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
HomeY	BOOL	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
HomeX	BOOL	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
Activo-7	bool	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		

**Figura 12-3** Declaración de variables globales e internas del sistema.  
**Realizado por:** Salazar Mónica, Urbano Christian

Luego se realiza la programación en módulos de ladder en cada eje, está añadido la librería de MOTION CONTROL en el cual se encuentra el siguiente diagrama de programación para cada eje. De la siguiente forma como se detalla en la Figura 13-3.



**Figura 13-3** Diagrama de flujo de cada eje.

Fuente: Help Automation Studio versión 4.19.1.

### 3.4. Costos

Este apartado esta designado para detallar los costos incurridos en el desarrollo del proyecto.

#### 3.4.1. Costo de materiales

Para la implementación del robot cartesiano tipo cantiléver se incurrió en gastos de dispositivos Eléctrico-Electrónicos, herramientas, accesorios y servicios, los cuales se indican en la Tabla 2-3

**Tabla 2-3** Lista de materiales y precios del robot cartesiano

<b>Lista de precios del robot cartesiano tipo cantiléver</b>			
<b>Materiales</b>	<b>Cantidad</b>	<b>P Unitario(USD)</b>	<b>Total</b>
Servomotores eje y, z	2	800	1600
Servomotores eje x	1	900	900
Servo drivers	3	900	2700
Panel pc	1	800	800
Riel eje x (incluye carro)	1	567.5	567.5
Riel eje y, z (incluye carros)	2	283.75	567.5
Ángulos de aluminio	2	150	300
Ventosa	2	100	200
Válvulas de presión	1	50	50
cilindro	1	75	75
poleas	4	50	200
Poleas auxiliares	4	15	60
Rodamientos	4	8	32
pernos	154	0.75	115.5
Planchas de aluminio	1	100	100
Cables (m)	6	400	2400
fuentes	3	25	75
sensores	9	40	360
piñón	1	30	30
cremallera	1	30	30
Mangueras (m)	18	0.45	8.1
Licencia automatización Studio 4.0	1	2000	2000
bandas (m)	5	15	75
Estructura mecánica	1	2500	2500
Electroválvulas	2	40	80
Mano de obra	2	5000	10000
Varios	1	400	400
<b>Total</b>			<b>26225.6</b>

Realizado por: Salazar Mónica, Urbano Christian

### 3.5. Obtención e Interpretación de Resultados

Para la recolección de resultados y el análisis estadístico de datos durante la fase de indagación se obtuvo la muestra de una encuesta tomada en cinco empresas de las cuales sólo una tenía implementada la tecnología MOTION CONTROL y POWERLINK por la empresa CAE SOLUTIONS EC.

El tamaño de la muestra es de 50 personas pertenecientes a las empresas encuestadas las cuales como requisito debían ser del área de mantenimiento o personal técnico de instrumentación.

Los análisis obtenidos en la fase de muestreo y simulación conllevan a la demostración de la sistematización por medio de resultados.

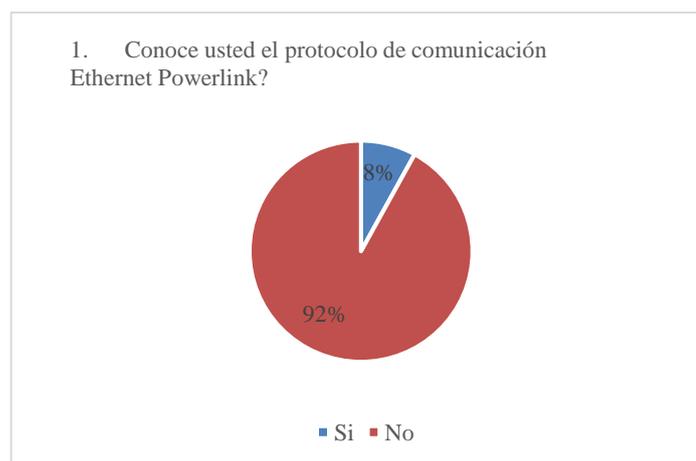
### 3.6. Demostración de la Sistematización

#### ¿Qué tecnologías existen en la actualidad para la manipulación de procesos industriales?

Existen tecnologías de sistemas neumáticos, hidráulicos, eléctricos y mixtos, cada uno utilizado en diferentes áreas con propósitos generales; en el robot cartesiano se presenta una tecnología mixta eléctrica y neumática con la cual nos permite desarrollar de manera óptima el paletizado de objetos; éstas tecnologías son controladas con PLC's o con PC industriales en donde se ocupa protocolos de comunicación y programación para el control de los sistemas mencionados; en el robot cartesiano se utiliza la comunicación mediante ETHERNET POWERLINK que es un protocolo a nivel industrial y para el control se utiliza GENERIC MOTION CONTROL que es una librería de Automation Studio, herramientas muy poderosas y precisas para la manipulación de procesos industriales.

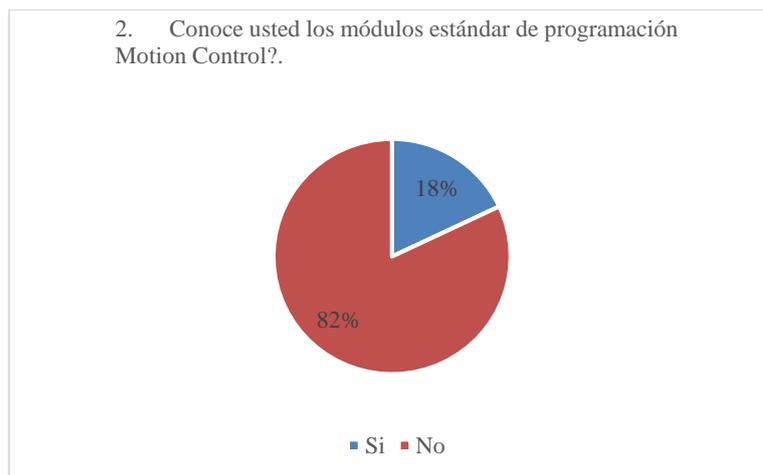
En la encuesta realizada se determina el desconocimiento de estas tecnologías que podrían acelerar procesos y obtener mayor producción en la industria.

En la Figura 14-3 se muestra el porcentaje de resultados realizados en la encuesta.



**Figura 14-3** Imagen de resultados pregunta 1 de encuesta  
**Realizado por:** Salazar Mónica, Urbano Christian

El resultado refleja que el 92% de las personas participantes desconoce el protocolo de derivación de ETHERNET POWERLINK frente a un 8% que conoce de manera general. En la Figura 15-3 se evidencia los resultados.

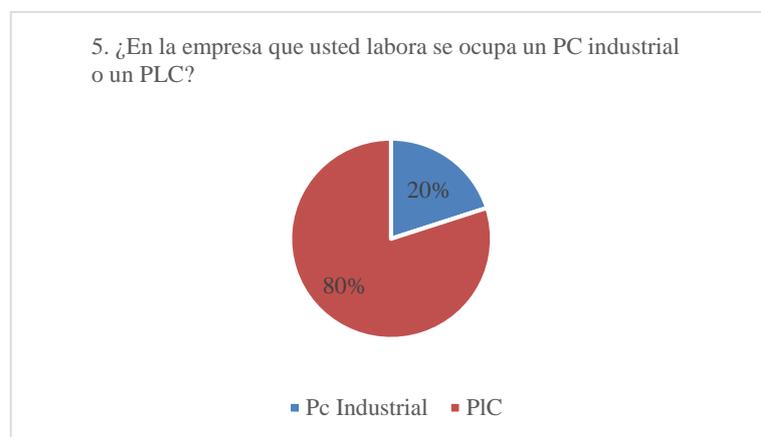


**Figura 0-1** Figura 15-3 Imagen de resultados pregunta 2 de encuesta

**Realizado por:** Salazar Mónica, Urbano Christian

El resultado refleja que el 82% de las personas participantes desconoce los módulos estándar de programación Motion Control frente a un 18% que tiene conocimiento general.

La Figura 16-3 muestra los resultados de la pregunta 5 de la encuesta realizada.



**Figura 0-2** Figura 16-3 Imagen de resultados pregunta 5 de encuesta

**Realizado por:** Salazar Mónica, Urbano Christian

El resultado refleja que el 80% de las personas participantes ocupa un PLC industrial en los procesos industriales de su empresa, por lo que se puede establecer que tiene un circuito de control exterior frente a un 20% que ocupan sistemas integrados de PC industriales que no necesitan circuitería adicional y su control es homogéneo.

**¿Qué ventajas se obtiene al utilizar el protocolo de comunicación POWERLINK?**

Las ventajas que se pueden obtener al utilizar el protocolo de comunicación POWERLINK son:  
Los ciclos de comunicación de 100 Mbit/s y la sincronización de 200ns demostrados en los movimientos del robot previamente programados.

La fácil conexión y direccionamiento con protocolos de comunicación TCP/IP de Ethernet Powerlink configurados en el robot cartesiano para la comunicación servo driver - Touch Panel.

No es necesario una tarjeta adicional para la comunicación de este tipo de dispositivos que en otras marcas lo son.

En la Figura 17-3 se muestra los resultados de la encuesta que evidencian el uso de otras tecnologías de comunicación que utilizan elementos adicionales.



**Figura 0-3** Figura 17-3 Imagen de resultados pregunta 6 de encuesta

**Realizado por:** Salazar Mónica, Urbano Christian

El resultado refleja que el 80% de las personas participantes no ocupa un mismo bus de campo para comunicación de sus elementos por lo cual se requiere tarjetas externas para comunicar con sus otros esclavos en diferentes procesos industriales. Frente a un 20% que ocupan sistemas con un bus de comunicación general al cual se pueden agregar diferentes elementos y sin necesidad de colocar tarjetas externas de los productos independientes de la marca para poder comunicarse y cumplir las diferentes tareas asignas a los autómatas.

Las ventajas se reflejan en el robot cartesiano al verificar la conexión y programación cuya comunicación se configura al inicio en el Automation Studio de B&R y no necesita ningún otro elemento adicional para la misma.

En la encuesta realizada se determina el desconocimiento en su gran mayoría de éstas ventajas que si bien es cierto se podría aplicar en el país y se dejaría de traer asesoramiento y personal técnico extranjero. En la Figura 18-3 se muestra los resultados.



**Figura 0-4 Figura 18-3** Imagen de resultados pregunta 3 de encuesta

**Realizado por:** Salazar Mónica, Urbano Christian

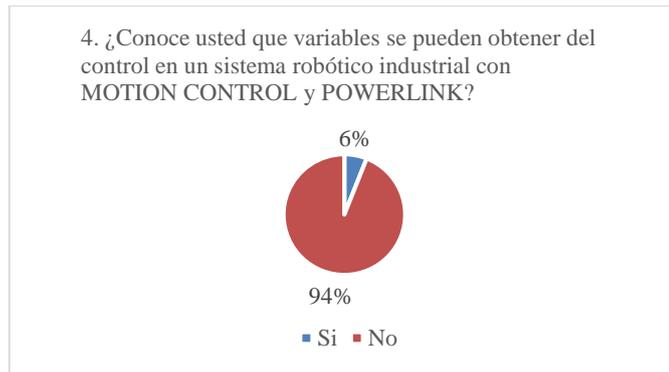
El resultado refleja que el 82% de las personas participantes desconoce las ventajas que se obtienen al fusionar este tipo de tecnologías en el aumento de producción frente a un 18% que tiene conocimiento general y que aún no lo han aplicado.

### **¿Qué variables se pueden controlar en un proceso de automatización con la tecnología GENERIC MOTION CONTROL?**

En el robot cartesiano se evidenció que las variables que se pueden controlar con la tecnología GMC son la VELOCIDAD y la POSICIÓN regidos a su estructura mecánica alargando la vida útil de los servomotores o dispositivos que utilicen esta librería.

Otras variables son la Eficiencia y Rendimiento de los motores que se conecten con esta librería debido a que se tiene el control directo de los torques nominales de los motores y las configuraciones estándares de MOTION CONTROL permiten manipular de manera óptima.

En la Figura 19-3 se observa los resultados de la encuesta realizada.



**Figura 0-5** **Figura 19-3** Imagen de resultados pregunta 4 de encuesta

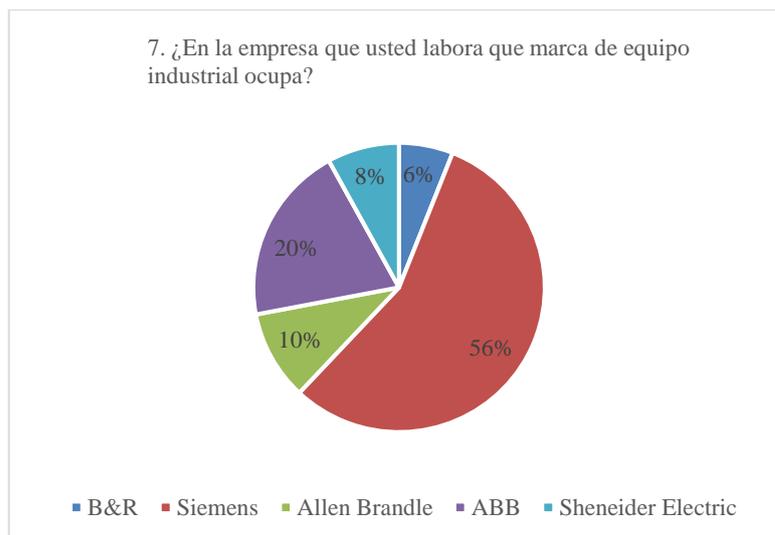
**Realizado por:** Salazar Mónica, Urbano Christian

El resultado refleja que el 94% de las personas participantes desconoce que variables se pueden controlar con este sistema frente a un 6% que tiene conocimiento general por el manual existente de las máquinas.

Con esto se demuestra que el desconocimiento de la tecnología MOTION CONTROL implica que las empresas puedan mejorar su eficiencia obteniendo mejores ganancias.

**¿Qué aporta utilizar la tecnología GENERIC MOTION CONTROL en un sistema de robótica industrial?**

Al utilizar GMC en un sistema robótico industrial permite sincronizar en un mismo bus de campo varios procesos como controles ayudando al diagnóstico y a la prevención de errores en los sistemas con lo cual entrega la pauta para dar un mantenimiento preventivo y correctivo en el sistema, en el robot el sincronismo se encuentra en la comunicación entre los servo drivers o denominados ACOPOS que contienen un direccionamiento estático y una configuración hexadecimal en el bus de campo con lo cual podemos conectar n dispositivos y lograr el mismo sincronismo. En la Figura 20-3 indica los resultados obtenidos de encuesta realizada.

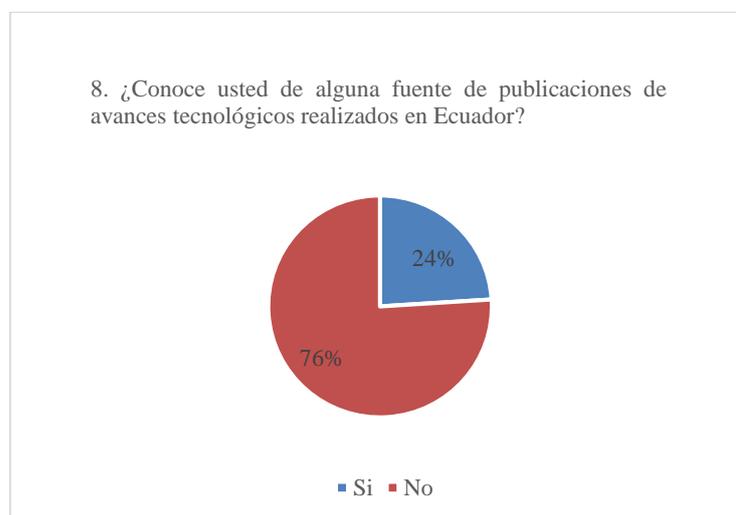


**Figura 0-6**Figura 20-3 Imagen de resultados pregunta 7 de encuesta

**Realizado por:** Salazar Mónica, Urbano Christian

La mayor cantidad de productos empleados en procesos industriales con un 56% es siemens, seguido con un 20 % ABB, con un 10% ALLEN BRANDLEY, con un 8 % SHENNEIDER ELECTRIC y finalmente un 6% productos de BERNEKER AND RAINNER (B&R) estableciendo que el protocolo más ocupado por siemens es As-i que para integrar otro tipo de dispositivos se necesita tarjetas de comunicación adicionales y solo se pueden ocupar productos de la misma marca.

Esto implica que el 8% ocupa tecnología MOTION CONTROL a nivel nacional.



**Figura 0-7**Figura 21-3 Imagen de resultados pregunta 8 de encuesta

**Realizado por:** Salazar Mónica, Urbano Christian

El 76% dice que desconoce de este tipo de fuentes de publicaciones de avances tecnológicos que se implementen en Ecuador frente a un 24 % que dice que si están en pleno conocimiento de los avances tecnológicos.

## CONCLUSIONES

1. El uso de herramientas CAD en conjunto con CAE y CAM, permitieron crear las partes y piezas del robot con gran precisión, permitiendo hacer los análisis respectivos con los cuales tendremos una plataforma robótica robusta y con acabados estéticos además de obtener el modelo dinámico que generan los eslabones del robot cartesiano.
2. El modelo de la estructura mecánica se encuentra basado en criterios de permanencia como: efectos mecánicos, portabilidad del robot, robustez. En cuanto a materiales, se emplearon materiales de alta durabilidad como el aluminio y hierro obteniendo una estación robusta al uso continuo y costo medio. Finalmente, en cuanto a normas industriales se emplearon colores que permitan identificar partes móviles y estáticas.
3. El protocolo de comunicación POWERLINK soportados por los dispositivos de control como en los actuadores del robot, reducen la complejidad de conexión de éstos a los servo accionamientos (ACOPOS), el cual posee integrados los puertos de comunicación necesarios para conectarlos.
4. GENERAL MOTION Control por su gran capacidad de generalización, tolerancia a fallos y flexibilidad en la programación, las convierten en una técnica ideal para el control de robots del tipo cartesiano, debido a que se puede resolver de manera coordinada y estable el problema en el control de posición de los ejes y el movimiento de sus motores.
5. Con la co-simulación del robot se determinó la plataforma virtual con el cual permite conocer el torque necesario, mediciones del sistema para tener el análisis dinámico que presenta el robot, además de su comportamiento con su máxima carga con el cual se ejecuta para trabajar con el fin de conocer el rango de trabajo del mismo.
6. Se ejecutó satisfactoriamente todas las etapas de ingeniería para el desarrollo y construcción del robot cartesiano con la tecnología GENERIC MOTION CONTROL y POWERLINK, lográndose el diseño con el cual se dará a conocer la primera implementación de esta tecnología en Ecuador.
7. El modelo cinemático-dinámico ha sido sintetizado en planillas de cálculo dinámicas utilizando el software Adams y llevando sus datos a análisis, con las que se obtuvo la especificación de los equipos eléctricos y electromecánicos necesarios para la implementación. Este modelo tendrá vigencia para futuros proyectos que posean un modelo

estructura similar, permitiendo el diseño según los requerimientos particulares de cada cliente, considerando el estudio que se presenta en este proyecto.

## **RECOMENDACIONES**

1. Se recomienda leer el manual de usuario antes de operar el robot cartesiano.
2. Se debe tomar en cuenta los datasheet de cada uno de los elementos eléctricos y electrónicos debido a que algunos trabajan con conexión DC y otras AC.
3. Por seguridad toda máquina para aplicaciones industriales debe contar con un paro de emergencia manual.
4. Por su seguridad no manipular los eslabones cuando el robot se encuentre energizado, ya que hay riesgo de atrapamiento.
5. Se recomienda mantener lubricado los rieles que generan el movimiento mecánico, para aumentar la vida útil y no sufra de atascamientos.

## BIBLIOGRAFIA

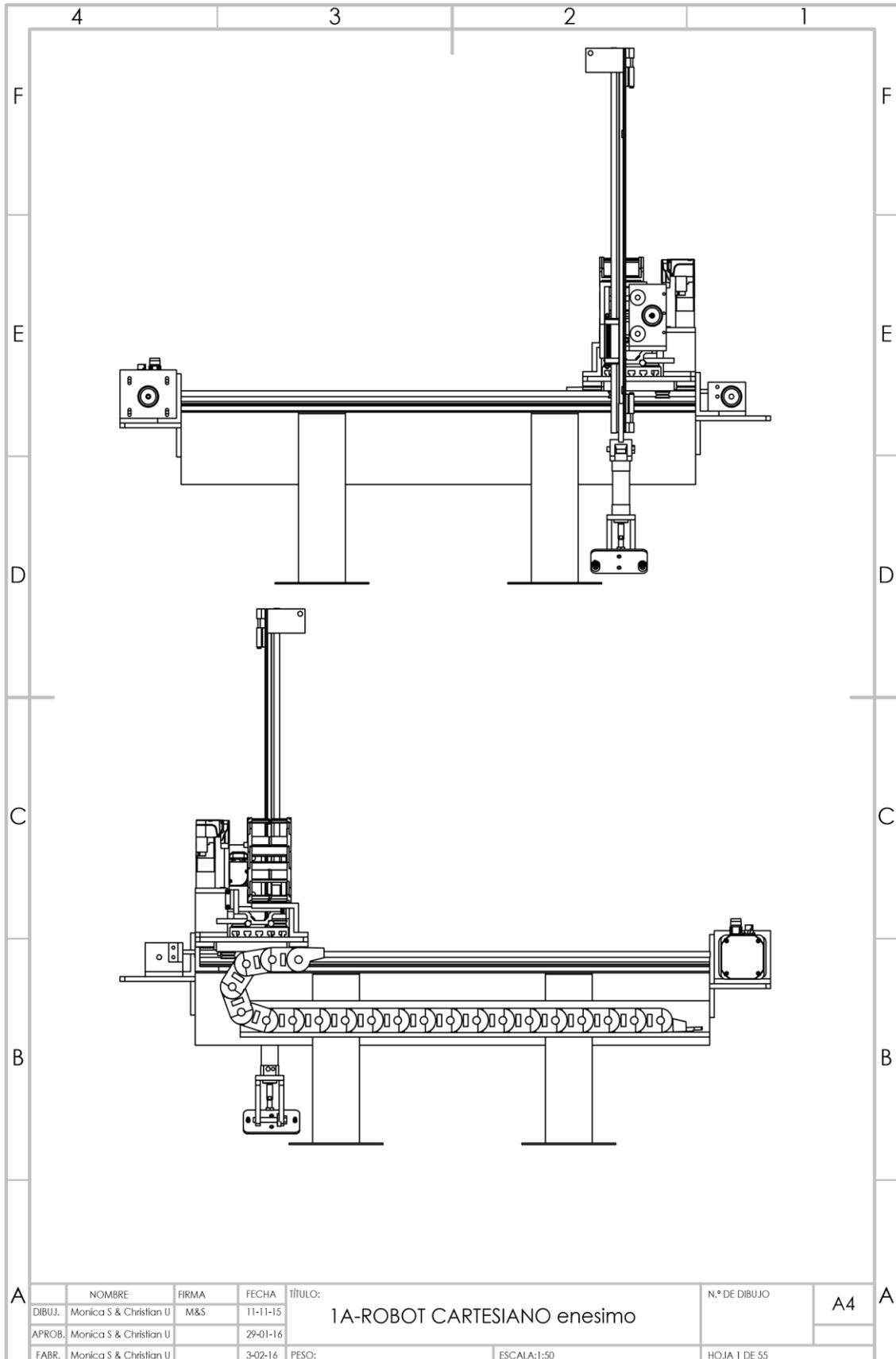
- **ASIMOV, Isaac.** *I, robot* [en línea]. 9<sup>na</sup> ed., .Barcelona-España: Romany /Valls. s.f, pp. 3. [Consulta: 1 Mayo 2015]. Disponible en: <http://ir.nmu.org.ua/bitstream/handle/123456789/135397/a848a971f45d5435b3cb83eabc08a890.pdf?sequence=1>
- **BARRIENTOS, A.; et al.** *Fundamentos de Robótica.* 2<sup>a</sup>. ed., Madrid- España. McGraw-Hill/Interamericana de España. 2007, pp. 55-108.
- **BERNECKER + RAINER INDUSTRIE-ELEKTRONIK GES.M.B.H.** *TM210:El control de automation studio* [ En línea.].2013.B&R.[Consulta: 14 Octubre 2015]. Disponible en : <https://www.br-automation.com/es/formacion/cursos/modulos-formativos/tecnologia-de-control/tm210-trabajar-con-automation-studio/>
- **BERNECKER + RAINER INDUSTRIE-ELEKTRONIK GES.M.B.H.** *TM213:Automation Runtime* [ En línea.].2013.B&R.[Consulta: 24 Octubre 2015]. Disponible en : <https://www.br-automation.com/es/formacion/cursos/modulos-formativos/tecnologia-de-control/tm213-automation-runtime/>
- **BERNECKER + RAINER INDUSTRIE-ELEKTRONIK GES.M.B.H.** *TM223: El Diagnostico en automation studio* [ En línea.].2013.B&R.[Consulta: 24 Octubre 2015]. Disponible en : <https://www.br-automation.com/es/formacion/cursos/modulos-formativos/tecnologia-de-control/tm223-diagnostico-automation-studio/>
- **BERNECKER + RAINER INDUSTRIE-ELEKTRONIK GES.M.B.H** *TM140: B&R Automation studio target for simulink* [ En línea.].2013.B&R.[Consulta: 24 Noviembre 2015]. Disponible en : <http://www.br-automation.com/en/products/software/gmc-generic-motion-control/>
- **Construcción del robot cartesiano tipo industrial.** BUEN VIVIR *PLAN NACIONAL 2013-2017: Objetivo 10 Impulsar la transformación de la matriz productiva* [En línea]. Quito- Ecuador: 2013. [Consulta: 24 diciembre 2014]. Disponible en: [www.buenviviir.gob.ec/](http://www.buenviviir.gob.ec/)

- **DESCRIPCION DEL ROBOT.** *Instituto Schneider Electric de Formación* [En línea].2008. [Consulta: 12 noviembre 2015]. Disponible en: [http://www.equiposdidacticos.com/img/desarrollos/MESAXY\\_WEB.pdf](http://www.equiposdidacticos.com/img/desarrollos/MESAXY_WEB.pdf)
- **GONZÁLEZ, Ana; & ESPINA, Mauricio.** *Robótica y Aplicaciones* [En línea] .s.f. [Consulta: 15 septiembre 2015]. Disponible en: <http://www.monografias.com/trabajos10/robap/robap.shtml>
- **GONZALES, Victor.** *Fundamentos de Robotica* [En línea]. Valladolid-España, 2002. [Consulta: 16 Septiembre 2015]. Disponible en: [http://platea.pntic.mec.es/vgonzale/cyr\\_0204/ctrl\\_rob/robotica/index.htm](http://platea.pntic.mec.es/vgonzale/cyr_0204/ctrl_rob/robotica/index.htm)
- **HERRERA, Victor; & SANCHEZ, Nestor.** *Diseño y construccion de un prototipo robotico con arquitectura cartesiana dotado de vision artificial para el paletizado de cajas* [En línea].(Tesis pregrado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Informática y Electrónica, Electrónica en Control y Redes Industriales. Riobamba-Ecuador. 2011, pp. 120-125. [Consulta: 14 marzo 2015]. Disponible en:
- **JARA, Marcela; & PACHECO, Mayra.** *Diseño implementacion de robot cartesiano para el montaje de tapa y/o pasador en el proceso de paletizado* [En línea].(Tesis pregrado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Informática y Electrónica, Electrónica en Control y Redes Industriales. Riobamba-Ecuador. 2013, pp. 30-55. [Consulta: 15 septiembre 2015]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/3265> .
- **K.S.FU.; et al.** *Robotica control desteeccion vision e inteligencia.* 2ª ed., Madrid-España. McGRAW-HILL. 1988, pp.10-50.
- **KELLY, Rafael; & SANTIVANÉZ, Victor.** *Control de movimiento de robots.* Madrid-España. Pearson Educacion S.A.2003, pp. 119-200
- **PÉREZ, Mary.** *Co-Simulación ADAMS/MATLAB para el control de posición del ROBOT GRYPHON,* Bucaramanga-Colombia. BUCARAMANGA: Universidad Pontificia Bolivariana.2012, pp.102-245.
- **RUIZ DE GARIBAY PASCUAL, Jonathan.** *Robótica: Estado del arte.* [en línea]. s.f, [Consulta: 28 Junio 2015]. Disponible en: [http://www.academia.edu/913608/Rob%C3%B3tica\\_Estado\\_del\\_arte](http://www.academia.edu/913608/Rob%C3%B3tica_Estado_del_arte)
- **TINAJERO, José.** *Evaluación de la eficiencia de los controladores Arduino mega y siemens logo 230 en procesos industriales* [En línea]. (Tesis pregrado). Escuela Superior

Politécnica de Chimborazo, Informática y Electrónica, Electrónica en Control y Redes Industriales. Riobamba-Ecuador. 2014, pp. 65-70. [Consulta: 15 septiembre 2015].  
Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/3800/1/108T0110.pdf>



**Anexo A: Vistas lateral y frontal del robot Cartesiano.**









## Anexo E: Datasheet reductores Eje X , Eje Y y Eje Z.

						
<b>Type</b>	Economy	Standard	Standard	Standard	Standard	Premium
<b>Serie</b>	8GP30	8GP40	8GP45	8GP50	8GP55	8GP60 / 8GP70
<b>Size</b>	40, 60, 80, 120	40, 60, 80, 120	67, 88, 121	50, 70, 90, 120, 155	60, 80, 120	70, 90, 115, 142, 190
<b>Protection</b>	IP54	IP54	IP54	IP54	IP65	IP65
<b>Backlash [arcmin]</b>						
Single-stage	≤ 8 - ≤ 15	≤ 8 - ≤ 15	≤ 8 - ≤ 12	≤ 8 - ≤ 15	≤ 8 - ≤ 12	≤ 1 - ≤ 3
Two-stage	≤ 12 - ≤ 19	≤ 12 - ≤ 19	≤ 12 - ≤ 15	≤ 12 - ≤ 19	≤ 12 - ≤ 15	≤ 1 - ≤ 5
Three-stage	-	≤ 14 - ≤ 22	≤ 14 - ≤ 18	-	-	-
<b>Gear ratios</b>						
Single-stage	5, 10	3 - 10	3 - 10	3 - 10	3 - 10	3 - 10
Two-stage	25	9 - 100	9 - 100	9 - 100	9 - 100	12 - 100
Three-stage	-	60 - 512	60 - 512	-	-	-
<b>Rated output torque [Nm]</b>	5 - 172	5 - 260	15 - 260	5 - 460	15 - 260	27 - 1800
<b>Radial load 20.000 h [N]<sup>1)</sup></b>	200 - 1750	200 - 1750	900 - 2950	800 - 5200	3200 - 6000	3200 - 21000
<b>Axial load 20.000 h [N]<sup>1)</sup></b>	200 - 2500	200 - 2500	1000 - 2500	1000 - 7000	4400 - 8000	4400 - 21000
<b>Output shaft</b>						
Smooth	-	□	□	□	■	■
Keyed (DIN 6885 T1)	■	■	■	■	□	□
Spine (DIN 5480)	-	-	-	-	-	□

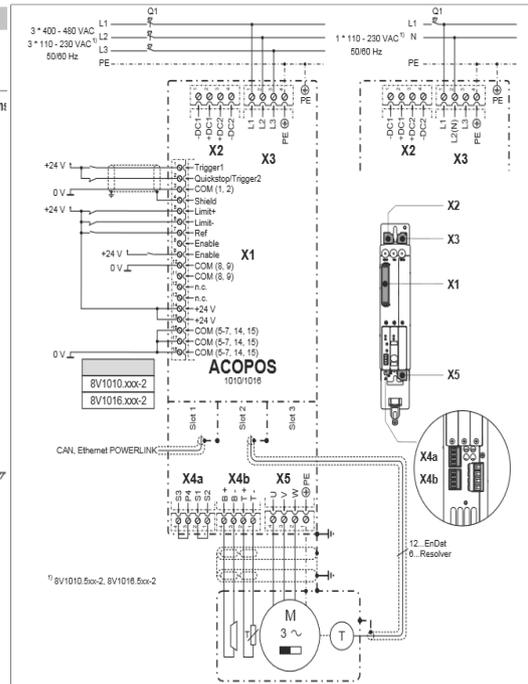
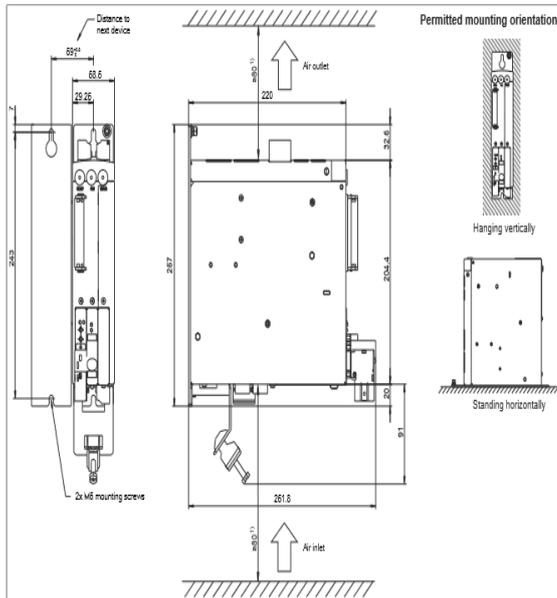
1) With reference to the center of the output shaft. These values refer to an output shaft speed of  $n \geq 100 \text{ min}^{-1}$  and application factor  $K_A = 1$  as well as S1 operating mode for electrical machines and  $T = 40^\circ\text{C}$ , depending on the respective motor shaft diameter.

- standard
- option
- not available

## Anexo F: Datasheet Acopos 1010 50-2 y Acopos 1016 50-2

8V1010.50-2

### 5 Dimension diagram and installation dimensions



### 6.1 X1 connector - Pinout

Pin	Name	Function
1	Trigger1	Trigger 1
2	Quickstop/Trigger2	Quickstop/Trigger2
3	COM (1, 2)	Trigger 1, Quickstop/Trigger 2 0 V
4	Shield	Shield
5	Limit+	Positive HW limit
6	Limit-	Negative HW limit
7	Ref	Reference switch
8	Enable <sup>1)</sup>	Enable
9	Enable <sup>1)</sup>	Enable
10	COM (8, 9)	Enable 0 V
11	COM (8, 9)	Enable 0 V
12	---	---
13	---	---
14	+24 V	+24 V supply
15	+24 V	+24 V supply
16	COM (5-7, 14, 15)	0 V supply
17	COM (5-7, 14, 15)	0 V supply
18	COM (5-7, 14, 15)	0 V supply

The following connections are linked with each other internally in the device:

- Pin 8 --> Pin 9 (Enable)
- Pin 10 --> Pin 11 (Enable 0 V)
- Pin 14 --> Pin 15 (Supply +24 V)
- Pin 16 --> Pin 17 --> Pin 18 (Supply 0 V)

Table 7: X1 connector - Pinout

1) The wiring is not permitted to exceed a total length of 30 m.

### 6.2 X2 connector - Pinout

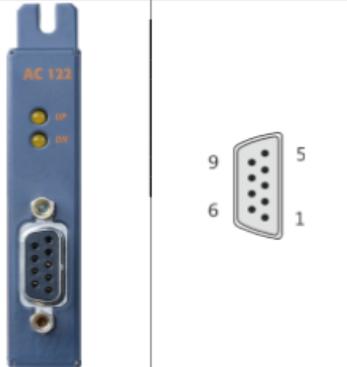
#### 6.2.1 8V1010.5xx-2, 8V1016.5xx-2

Pin	Name	Function
1	-DC1	U DC bus -
2	+DC1	U DC bus +
3	+DC2	U DC bus +
4	-DC2	U DC bus -

## Anexo G: Datasheet resolver 8AC122-60-3

Model number	Short description	Figure
<b>Plug-in modules</b>		
8AC122.60-3	ACOPOS plug-in module, resolver interface 10 kHz	
<b>Optional accessories</b>		
<b>Resolver cables</b>		
8CR005.12-1	Resolver cable, length 5 m, 3x 2x AWG 24 (19x 0.127), 12-pin Intercontec resolver connector, 9-pin DSUB servo connector, can be used in cable drag chains, UL/CSA listed	
8CR007.12-1	Resolver cable, length 7 m, 3x 2x AWG 24 (19x 0.127), 12-pin Intercontec resolver connector, 9-pin DSUB servo connector, can be used in cable drag chains, UL/CSA listed	
8CR010.12-1	Resolver cable, length 10 m, 3x 2x AWG 24 (19x 0.127), 12-pin Intercontec resolver connector, 9-pin DSUB servo connector, can be used in cable drag chains, UL/CSA listed	
8CR015.12-1	Resolver cable, length 15 m, 3x 2x AWG 24 (19x 0.127), 12-pin Intercontec resolver connector, 9-pin DSUB servo connector, can be used in cable drag chains, UL/CSA listed	
8CR020.12-1	Resolver cable, length 20 m, 3x 2x AWG 24 (19x 0.127), 12-pin Intercontec resolver connector, 9-pin DSUB servo connector, can be used in cable drag chains, UL/CSA listed	
8CR025.12-1	Resolver cable, length 25 m, 3x 2x AWG 24 (19x 0.127), 12-pin Intercontec resolver connector, 9-pin DSUB servo connector, can be used in cable drag chains, UL/CSA listed	

<b>Product ID</b>	8AC122.60-3
Bandwidth	2.5 kHz
Encoder monitoring	Yes
Accuracy	±8 angular minutes
Electrical isolation	No
Resolver - ACOPOS	No
Resolver	
Input frequency	10 kHz
Input voltage	3 to 7 V <sub>rms</sub>
Number of pins	2-pin
Type	BRX 3
Max. phase shift	±45°
Max. elec. angular error	±10 angular minutes
Nominal conversion ratio <sup>4)</sup>	0.5 ±10%
Sine/Cosine inputs	
Input impedance at 10 kHz (per pin)	10.4 kΩ - j 11.1 kΩ
Signal transmission	Differential signals
Encoder-ACOPOS electrical isolation	No, common-mode voltage on the sine-cosine inputs max ± 20 V
<b>Environmental conditions</b>	
Temperature	
Operation	
Nominal	5 to 40°C
Maximum	55°C
Storage	-25 to 55°C
Transport	-25 to 70°C
Relative humidity	
Operation	5 to 85%
Storage	5 to 95%
Transport	Max. 95% at 40°C

Figure	X11	Pin	Name	Function	Typical wire colors for the resolver
		1	---	---	---
		2	---	---	---
		3	P4	Sine input +	Blue
		4	S1	Cosine input -	Red
		5	R2	Reference output +	black/white (or yellow/white)
		6	---	---	---
		7	S2	Sine input -	Yellow
		8	S3	Cosine input +	Black
		9	R1	Reference output -	red/white

## Anexo H: Datasheet tarjeta de comunicación Powerlink 8ACC 114 60-2

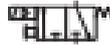
Model number	Short description	Figure
8AC114.60-2	ACOPOS plug-in module, POWERLINK V2 interface	
	<b>Plug-in modules</b>	
	<b>Optional accessories</b>	
	<b>POWERLINK cables</b>	
X20CA0E61.00020	POWERLINK connection cable, RJ45 to RJ45, 0.20 m	
X20CA0E61.00050	POWERLINK connection cable, RJ45 to RJ45, 0.50 m	
X20CA0E61.00100	POWERLINK connection cable, RJ45 to RJ45, 1.00 m	
X20CA0E61.00200	POWERLINK connection cable, RJ45 to RJ45, 2.00 m	
X20CA0E61.00500	POWERLINK connection cable, RJ45 to RJ45, 5.00 m	
X20CA0E61.01000	POWERLINK connection cable, RJ45 to RJ45, 10.00 m	

Figure	LED	Labeling	Color	Function	Description
	1	R/E	Green/Red	Ready/Error	See "Table 5: POWERLINK - LED status indicators" on page 2
	2	RX	Green	Link / data activity	

Figure	IF2	Pin	Name	Function	
		1	RXD	Receive signal	
		2	RXD\	Receive signal inverted	
		3	TXD	Transmit signal	
		4	Shield	Shield	
		5	Shield	Shield	
		6	TXD\	Transmit signal inverted	
		7	Shield	Shield	
		8	Shield	Shield	
		<b>IF1</b>	Pin	Name	Function
			1	RXD	Receive signal
			2	RXD\	Receive signal inverted
			3	TXD	Transmit signal
			4	Shield	Shield
			5	Shield	Shield
			6	TXD\	Transmit signal inverted
			7	Shield	Shield
8	Shield	Shield			

**VALVULAS SOLENOIDES 3/2**

SERIE 3V200/3V300 1/8" - 1/4" - 3/8" NPT



**Características**

- + Servopilotadas
- + Normalmente cerradas
- + Regreso resorte
- + Operador manual adicional

**Datos Técnicos**

**Fluido:**

Aire comprimido filtrado,  
lubricado o no lubricado

**Presión de Trabajo:**

1.5 a 8 Bar ~ 21 a 114 PSI

**Temperatura de Trabajo:**

-5°C a 60°C ~ 23°F a 140°F

**Tiempo de Respuesta:**

0,05 segundos

**Max. Ciclejo:**

5 Ciclejosegundo

**Materiales**

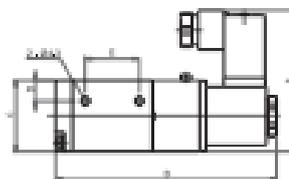
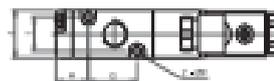
- Cuerpo : Aluminio  
 Carreta : Aluminio  
 Sellos : NBR  
 Resorte : Acero Inoxidable

**Modelos Standard**

Código	NPT	Operador	Estimación	Voltaje	CV
A11100	1/8"	Solenoido + resorte	3V210000VAC-DC12V	12 DC	0,75
A11101	1/8"	Solenoido + resorte	3V210000VAC-DC24V	24 DC	0,75
A11110	1/8"	Solenoido + resorte	3V210000VAC-AC110V	110 AC	0,75
A11111	1/8"	Solenoido + resorte	3V210000VAC-AC220V	220 AC	0,75
A11120	1/4"	Solenoido + resorte	3V210000VAC-DC12V	12 DC	0,99
A11121	1/4"	Solenoido + resorte	3V210000VAC-DC24V	24 DC	0,99
A11130	1/4"	Solenoido + resorte	3V210000VAC-AC110V	110 AC	0,99
A11131	1/4"	Solenoido + resorte	3V210000VAC-AC220V	220 AC	0,99
A11140	3/8"	Solenoido + resorte	3V3100100VAC-DC12V	12 DC	1,47
A11141	3/8"	Solenoido + resorte	3V3100100VAC-DC24V	24 DC	1,47
A11150	3/8"	Solenoido + resorte	3V3100100VAC-AC110V	110 AC	1,47
A11151	3/8"	Solenoido + resorte	3V3100100VAC-AC220V	220 AC	1,47

**Bobinas y Conectores**

Código	Descripción	Potencia
A16000	Bobina 12 VDC*	2,5 W
A16001	Bobina 24 VDC*	3,0 W
A16010	Bobina 24 VAC	3,5 VA
A16011	Bobina 110 VAC	2,5 VA
A16020	Bobina 220 VAC*	2,0 VA
A16030	Conector eléctrico DC con LED indicador	
A16040	Conector eléctrico AC con LED indicador	



NPT	A	B	C	D	E
1/8"	66,7	60	33	3,2	23
1/4"	66,7	60	33	3,2	23
3/8"	66,7	117	60	10,0	30

NPT	G	H	I	J	
1/8"	3,2	30	12,7	17	22
1/4"	3,2	30	12,7	17	22
3/8"	4,0	33	13	20	27

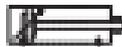
## Anexo J: Datasheet cilindro neumático MI20X25CAG



### Características

- Norma ISO 6432
- Resistentes a la oxidación
- Anillo magnético standard para control de posición
- Se suministra con tuerca de fijación y contratuerca del vástago
- No requieren lubricación

Doble efecto



### Datos Técnicos

#### Fluido:

Aire comprimido filtrado,  
lubricado o no lubricado

Presión de Trabajo:  
0.5 a 7 Bar = 7 a 100 PSI

Temperatura de Trabajo:  
-5°C a 70°C = 23°F a 158°F

Amortiguación:  
Elástica

### Materiales

Carrica:  
Acero Inoxidable

Cabezas:  
Aluminio inyectado

Vástago:  
Acero Inoxidable

Empaques:  
NBR

### Modelos Standard / Doble Efecto

Carrera mm (Pulg)	Diámetro del Cilindro en milímetros		
	16	20	25
25 (1")	AMI16025	AMI20025	AMI25025
40 (1.5")	AMI16040	AMI20040	AMI25040
75 (3")	AMI16075	AMI20075	AMI25075
80 (3.15")	AMI16080	AMI20080	AMI25080
100 (4")	AMI16100	AMI20100	AMI25100
125 (5")	AMI16125	AMI20125	AMI25125
150 (6")	AMI16150	AMI20150	AMI25150
175 (7")	AMI16175	AMI20175	AMI25175
200 (8")	AMI16200	AMI20200	AMI25200
225 (9")	AMI16225	AMI20225	AMI25225
250 (10")	AMI16250	AMI20250	AMI25250
275 (11")		AMI20275	AMI25275
300 (12")		AMI20300	AMI25300
Ø Vástago	6 mm	8 mm	10 mm
Conexión	M3	G1/8"	G1/8"

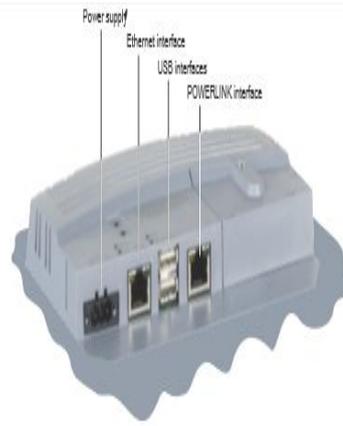
\* Para carreras no standard y cilindros de doble vástago consulte con su distribuidor

# Anexo K: Datasheet Power Panel 4PP0650571P74

## 4PP065.0571-P74

### 1 Order data

Model number	Short description	Figure
<b>Power Panel GS</b>		
4PP065.0571-P74	Power Panel PPS5, 5.7" QVGA color TFT display with touch screen (resistive), 128 MB DRAM, 256 MB SRAM, CompactFlash slot, 1x ETH 10/100, 1x POWERLINK, 2x USB, IP65 protection (front), order application memory separately. Order 078103 terminal block separately.	
<b>Required accessories</b>		
<b>CompactFlash</b>		
0CFORD 0103E-01	CompactFlash 128 MB VD extended temp.	
0CFORD 0510E-01	CompactFlash 512 MB VD extended temp.	
0CFORD 0084-03	CompactFlash 64 MB Western Digital (SLC)	
0CFORD 0103-03	CompactFlash 128 MB Western Digital (SLC)	



Interface	Pinout	
	Terminal	POWERLINK
<p>POWERLINK interface</p>  <p>Shielded RJ45 port</p>	1	RXD   Receive signal
	2	RXD\   Receive signal inverted
	3	TXD   Transmit signal
	4	Termination   Termination
	5	Termination   Termination
	6	TXD\   Transmit signal inverted
	7	Termination   Termination
	8	Termination   Termination

## Anexo L: Cadena porta cable de los tres ejes

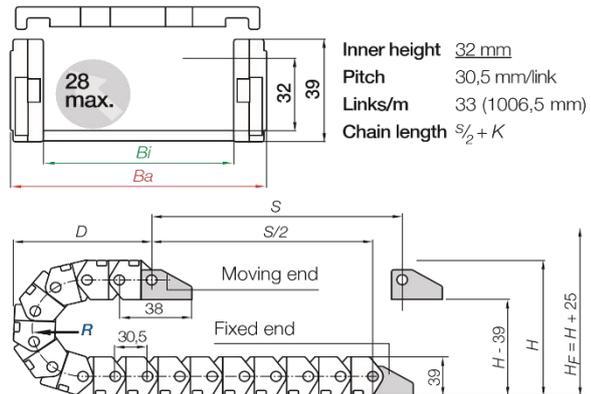
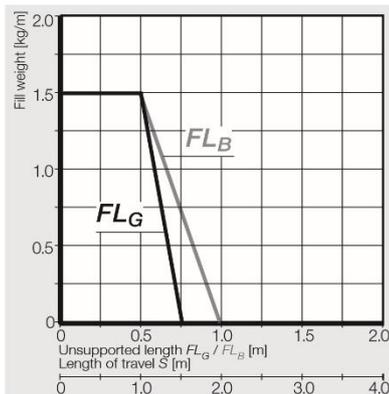


### e-chain® | Series 17 | Zip-open along outer radius

e-chain® zip-open along outer radius	<i>Bi</i> [mm]	<i>Ba</i> [mm]	<i>R</i> Bending radii [mm]	Weight [kg/m]
17. 1 .R.0	15	25,5	063   075   100   125	≈ 0,52
17. 2 .R.0	25	35,5	063   075   100   125	≈ 0,59
17. 3 .R.0	38	48,5	063   075   100   125	≈ 0,65
17. 4 .R.0	50	60,5	063   075   100   125	≈ 0,70
17. 5 .R.0	63	76	063   075   100   125	≈ 0,83
17. 6 .R.0	80	93	063   075   100   125	≈ 0,92
17. 7 .R.0	100	113	063   075   100   125	≈ 1,06

Supplement Part No. with required radius (*R*). Example: **17.2.075.0**

### Dimensions

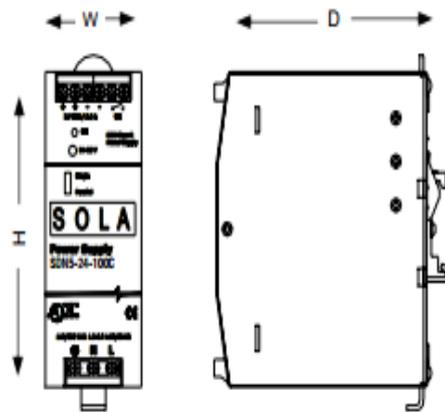


<i>R</i>	063	075	100	125
<i>H</i>	165	189	239	289
<i>D</i>	128	140	165	190
<i>K</i>	260	300	380	455

The required clearance height:  $H_F = H + 25$  mm (with 1,5 kg/m fill weight)

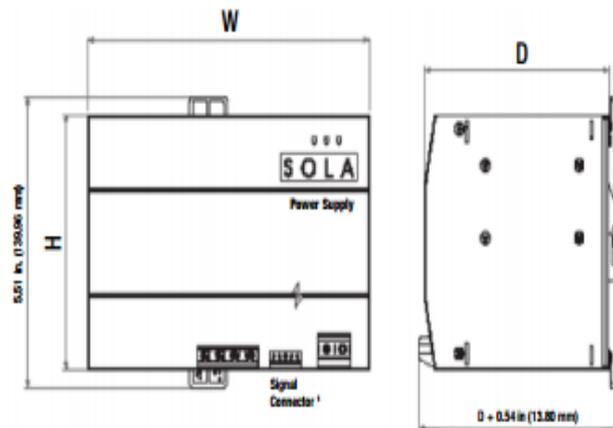
## Anexo M: Fuente de poder 110/24

### SDN-C Series Dimensions



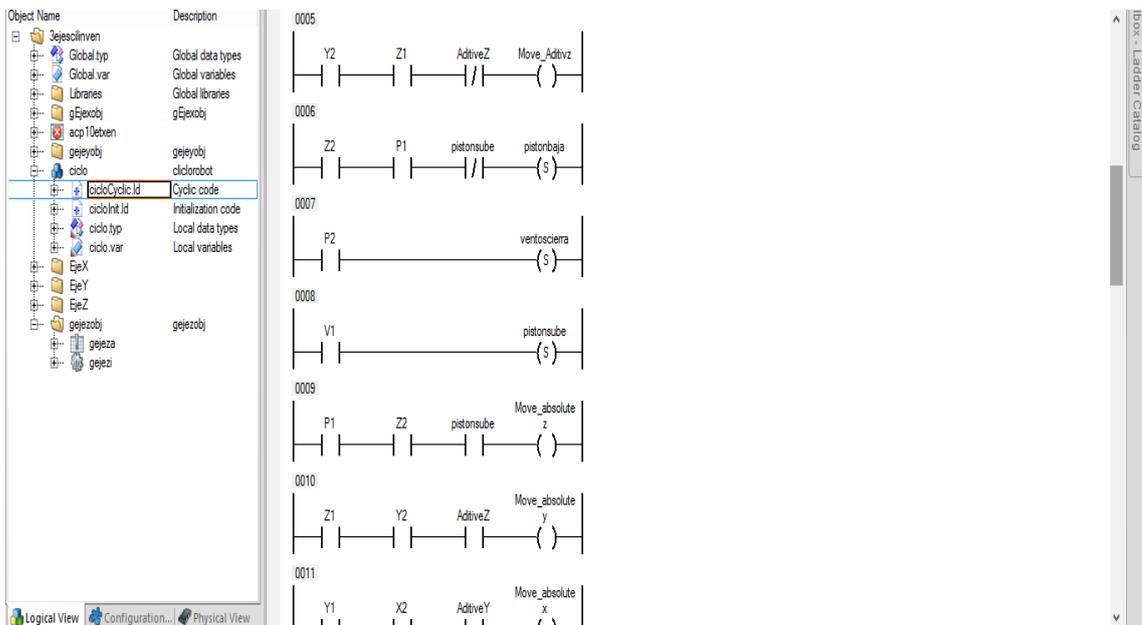
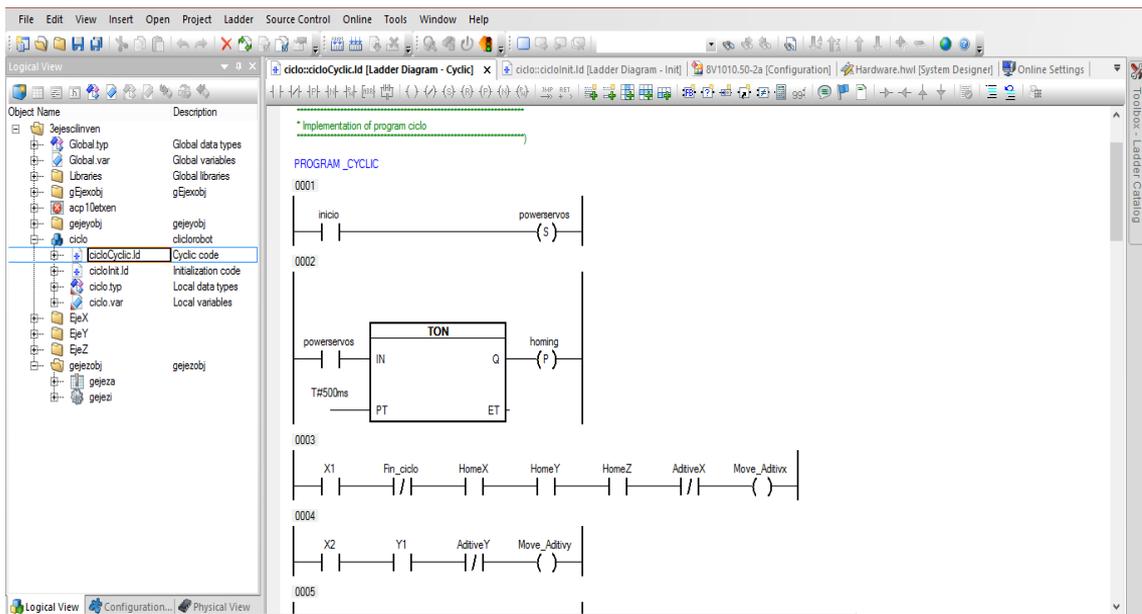
Catalog Number	Dimensions - inches (mm)		
	H	W	D
SDN 5-24-100C	4.85 (123.0)	1.97 (50.0)	4.38 (111.0)
SDN 10-24-100C	4.85 (123.0)	2.38 (60.0)	4.38 (111.0)
SDN 20-24-100C	4.85 (123.0)	3.42 (87.0)	4.98 (127.0)
SDN 5-24-480C	4.85 (123.0)	1.97 (50.0)	4.38 (111.0)
SDN 10-24-480C	4.85 (123.0)	2.38 (60.0)	4.38 (111.0)
SDN 20-24-480CC	4.85 (123.0)	3.35 (85.0)	4.68 (119.0)

### SDN 40-24-100C and SDN 40-24-480C Dimensions



Catalog Number	Dimensions - inches (mm)		
	H	W	D
SDN 40-24-100C	4.85 (123.0)	7.09 (180.0)	4.86 (118.0)
SDN 40-24-480C	4.85 (123.0)	7.09 (180.0)	4.81 (122.0)

## Anexo N: Programación en ladder del robot cartesiano



**Anexo O:** Manual técnico.



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN CONTROL Y REDES**  
**INDUSTRIALES**

**“IMPLEMENTACIÓN DE LA TECNOLOGÍA GENERIC MOTION CONTROL Y POWERLINK SOBRE UN ROBOT INDUSTRIAL DE CONFIGURACIÓN CARTESIANA PARA LA EMPRESA CAE SOLUTIONS EC.”**

**MANUAL TÉCNICO**

**Previo a la obtención del título de:**

**INGENIEROS EN ELECTRÓNICA, CONTROL Y REDES**  
**INDUSTRIALES**

**AUTORES:**

Salazar Jarrín Mónica Amparo

Urbano Castillo Christian Manuel

Riobamba – Ecuador

2016

## **1. INTRODUCCIÓN**

En este manual se especifican todas las partes que conforman el robot cartesiano, los puntos críticos que debe tener en cuenta el operador o cualquier persona para encender e iniciar el proceso de paletizado, por tanto, deben seguir el siguiente protocolo.

## **2. COMO UTILIZARLA**

El robot debe ser manipulado siguiendo las especificaciones expuestas a continuación:

- Leer el manual cuidadosamente antes de utilizar el robot.
- Usar el robot solo si está en un estado óptimo.
- Operar el robot de manera óptima para evitar posibles errores al momento de ejecutar las ordenes.
- El robot consta de dos partes: mecánica y electrónica, en la parte electrónica tenemos sensores, electroválvulas y actuadores que hacen posible el funcionamiento de la máquina, no manipularlos sin una investigación previa, caso contrario tendremos dificultades al momento de ponerlo en marcha.
- Las piezas para el movimiento debe ser de 500 mg como máximo.

## **3. INSTRUCCIONES DE SEGURIDAD**

Tener conocimientos teóricos y técnicos para que el robot, con el fin de alargar su vida útil.

### **3.1 Información General**

- Las personas que vayan a manipular el robot deben seguir las normas de seguridad para riesgos con el fin de prevenir cualquier eventualidad.
- La persona que vaya a manipular el robot debe estar plenamente capacitada.
- Debemos tener en cuenta que, si se sigue un procedimiento adecuado, el robot trabajará de forma ideal.

### **3.2 Parte Mecánica**

- La estructura mecánica del robot es importante para que esta funcione con precisión, un pequeño desfase en la estructura podría estropear la calibración de los componentes el cual podría generar atascamientos ocasionando averías en su espacio de trabajo.

Las posibles averías tendrán la codificación de error con alarmas en el sistema.

### **3.3 Parte Eléctrica**

La fuente de alimentación, alimenta los servomotores servo drivers a pasos pc con 110v, mientras los sensores, pc industrial acoples de señales digitales, analógicos y electroválvulas, con 24 voltios de corriente continua, 15 A.

**Anexo P:** Manual de usuario



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN CONTROL Y REDES**  
**INDUSTRIALES**

**“IMPLEMENTACIÓN DE LA TECNOLOGÍA GENERIC MOTION CONTROL Y  
POWERLINK SOBRE UN ROBOT INDUSTRIAL DE CONFIGURACIÓN  
CARTESIANA PARA LA EMPRESA CAE SOLUTIONS EC.”**

**MANUAL DE USUARIO**

**Previo a la obtención del título de:**

**INGENIEROS EN ELECTRÓNICA, CONTROL Y REDES**  
**INDUSTRIALES**

**AUTORES:**

Salazar Jarrín Mónica Amparo

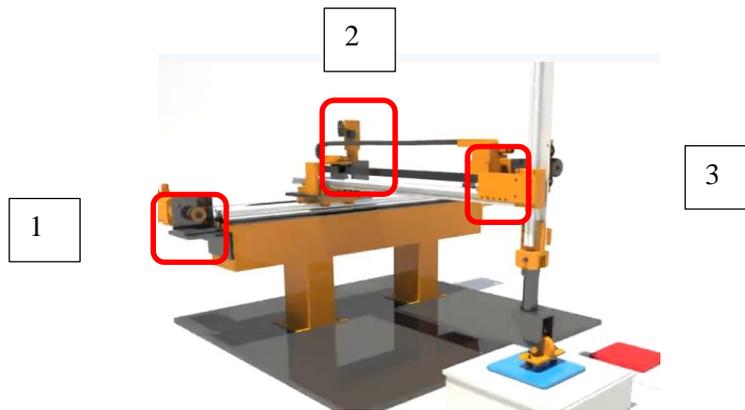
Urbano Castillo Christian Manuel

Riobamba – Ecuador

## INTRODUCCIÓN

El presente documento informa a detalle acerca del funcionamiento, los componentes y los planos eléctricos que posee el robot cartesiano pues la importancia es prioritaria la lectura del mismo. Para garantizar la correcta operación y mantenimiento del mismo.

## PARTES DEL ROBOT Y SUS ESPECIFICACIONES



### 1. Servomotores

Son los elementos de generación de movimiento.

Motor	Torque con reductor (Nm)
8lsa20300001 Eje X	4.5Nm
8lva1315d0001 Eje Y	1.6 Nm
8lva1315d0001 Eje Z	1.72Nm

### 2. Rieles

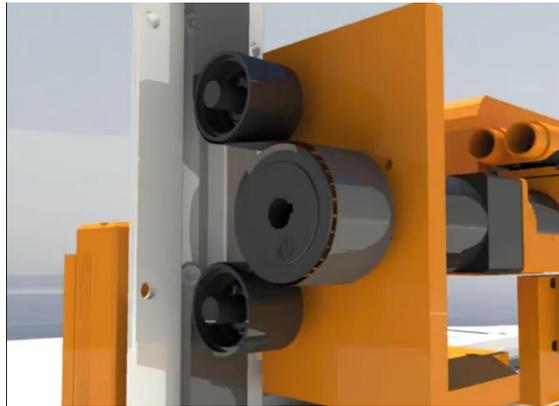
Son donde se genera el desplazamiento en el momento de ingresar los valores de la pantalla hay que recordarse los siguientes parámetros de los ejes.

Eje	Distancia máxima (mm)
X	835
Y	500
Z	535

### 3. Sistema de transmisión sistema omega y de fuerza periférica

Transfiere movimiento a todo el sistema generando desplazamiento en el espacio designado de trabajo los rieles deben ser previamente engrasados para que no sufran atascamientos a igual que las poleas auxiliares.

Lubricación: lubricar el sistema con aceite o grasa semanalmente.



### 4. Motor reductor

Elemento motriz compuesto por un servomotor eléctrico y una caja reductora para el accionamiento de la máquina.

*Reductor*

Relación de transmisión	5:1
Tipo	síncrono
Disposición de los ejes	Ortogonal
Marca	B&R

*Lubricación caja reductora:* Revisar semanalmente que el nivel de aceite y reponerlo des necesario. El motor de 1500 rpm quedara a 300 rpm.

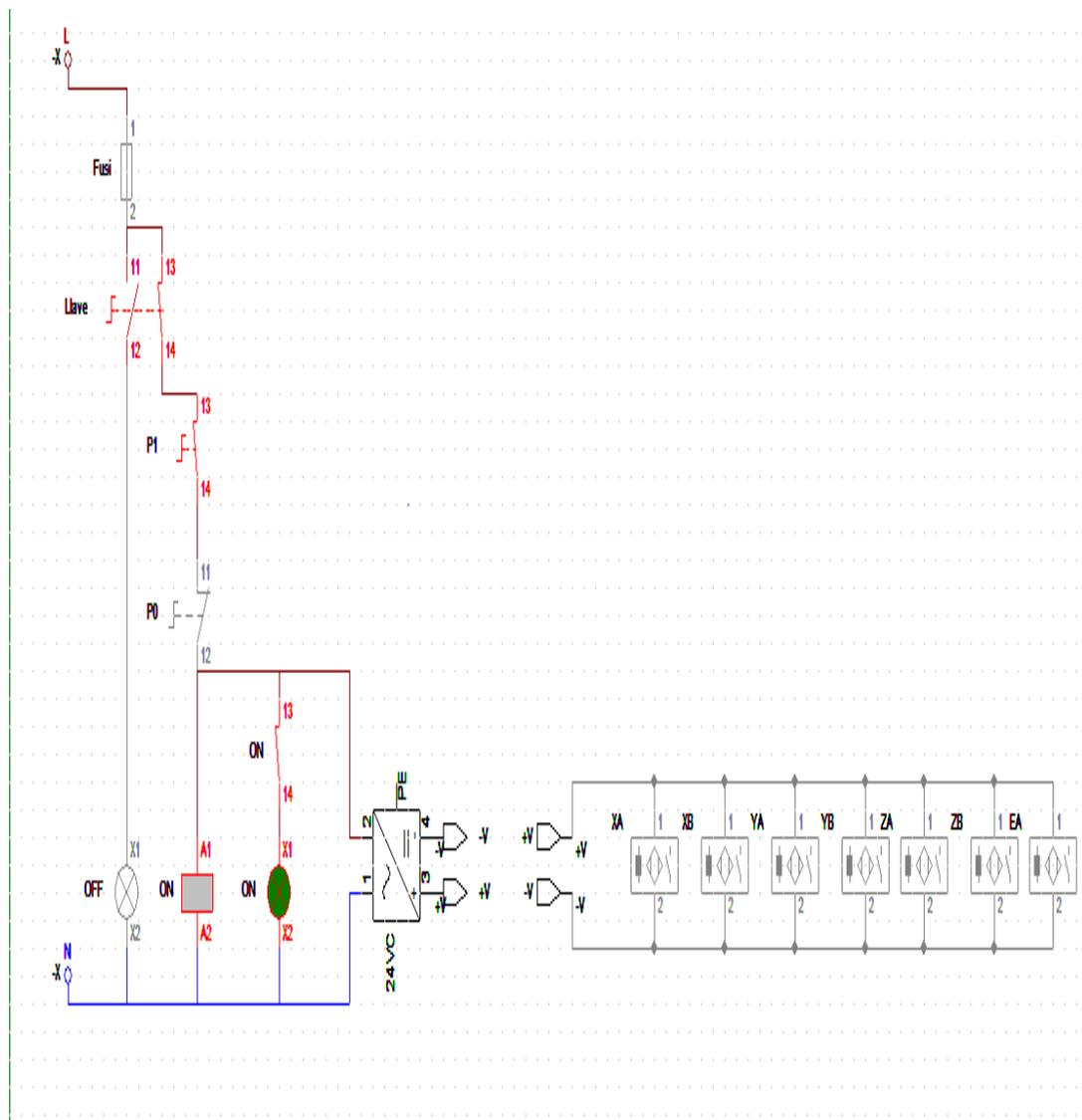
## 5. Sistema de acople de bandas

Las bandas colocadas son HTD5M con paso de 5 mm y de 10mm de ancho las cuales soportan hasta 45 kg de fuerza periférica y 35 kg de peso en sistema omega.

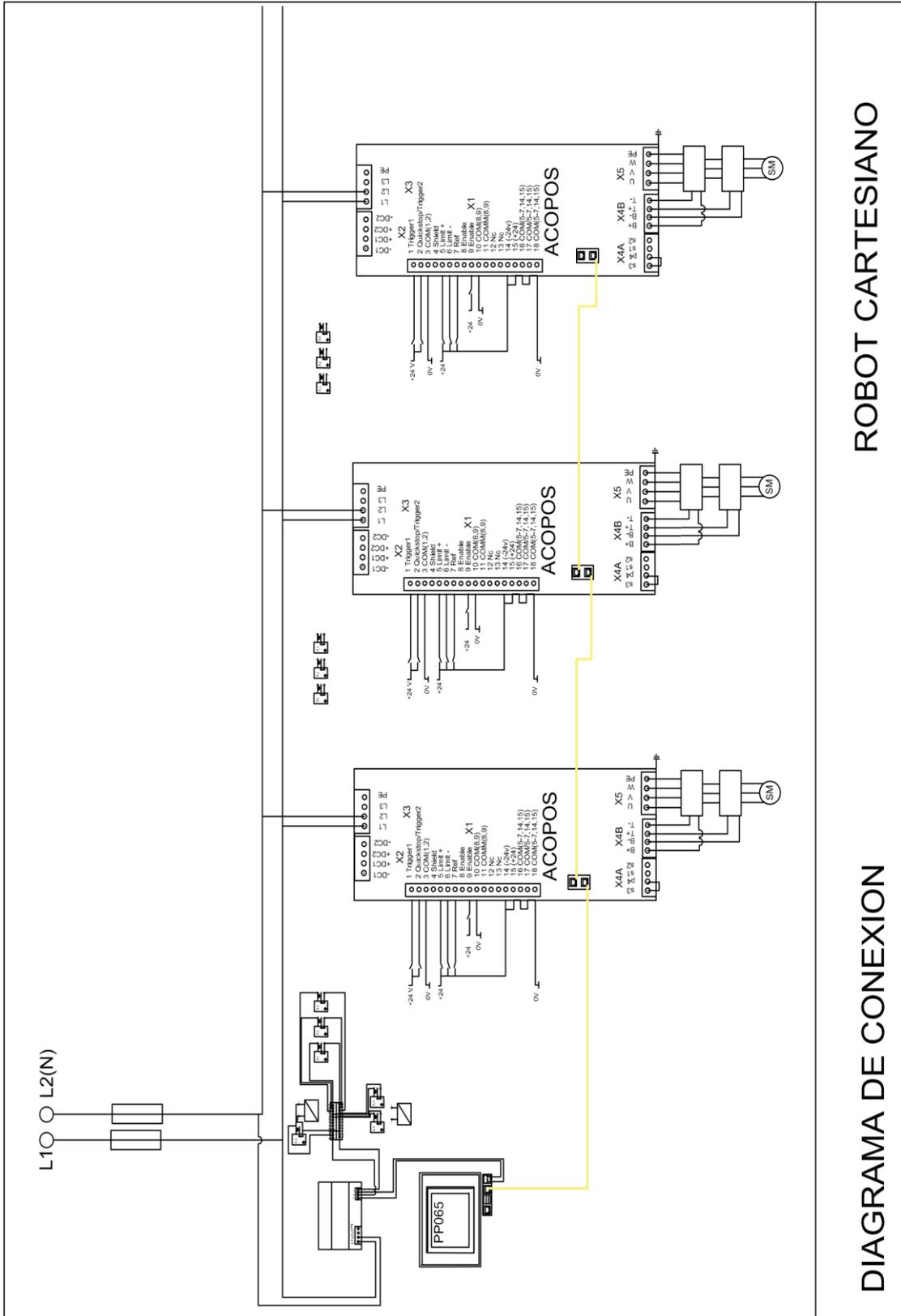
### PLANOS ELÉCTRICOS

El robot cartesiano funciona con dos servo driver a 110v a 60hz cabe mencionar que los servo drivers también funcionan con sistema DC pero no los dos sistemas a la vez.

#### Tablero principal



*Diagrama de conexión de la red entre la HMI*



ROBOT CARTESIANO

DIAGRAMA DE CONEXION

## OPERACIÓN DEL PP065

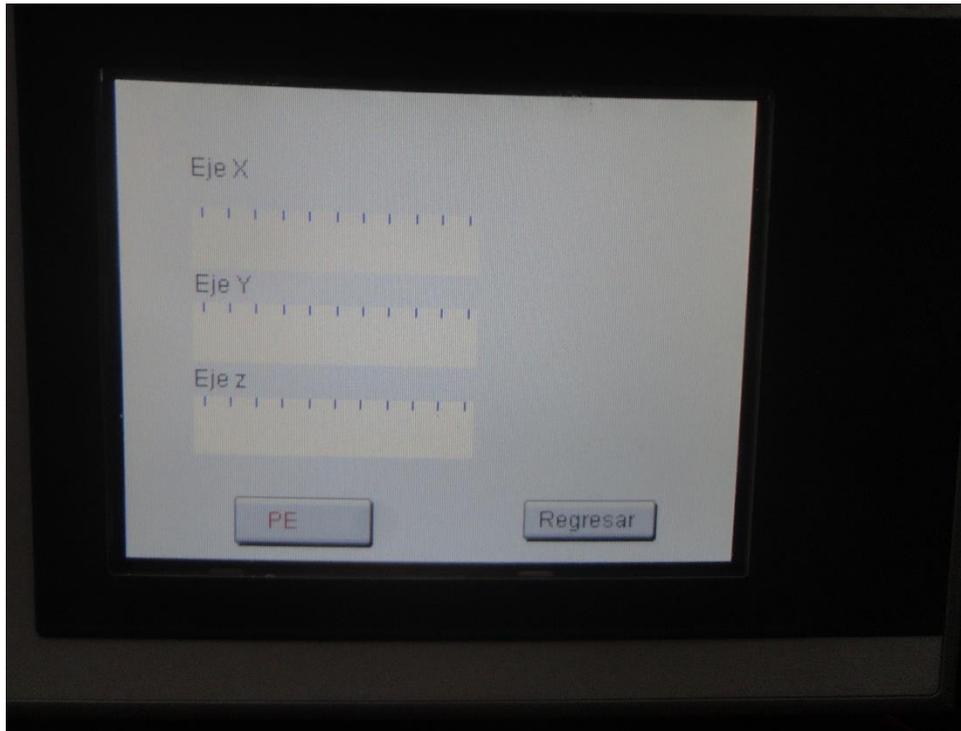


Todas las pantallas tendrán un paro de emergencia y su inicio. Este funciona de forma directa con el servo driver en los pines de conexión 1 y 2 los cuales nos permiten realizar el paro de manera interna y externamente el proceso y de manera eficaz.

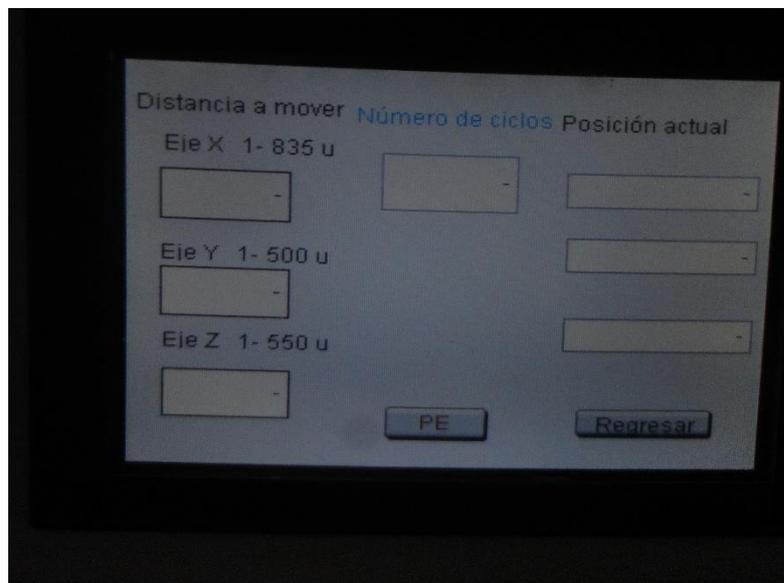
El encendido de la pantalla es con el botón Start



En la segunda pantalla se despliega el modo en el cual se desea trabajar ya sea manual o automático.



En el modo manual se despliega unos slider para que se mueva solo las distancias que previamente configuradas.



En el modo automático se configura las distancias para que en cada eje se fijara el número de ciclos y se visualizara la posición a la que se va desplazando.

**Parámetros de los ejes:** Accede a la pantalla 4, para mostrar información a detalle acerca de la posición después de que se genere el homing.

Para un ajuste rápido y no tan molesto de la velocidad pulse con el dedo sobre el recuadro donde se visualizan los dígitos en color verde e inmediatamente emergerá un teclado par el ingreso de parámetros de posición, una vez ingresado el valor por favor pulse aceptar para su validación.

25			
7	8	9	BS
4	5	6	<--
1	2	3	-->
0	.	-	Clr
Aceptar		Cancelar	

### **Recomendaciones**

Tomar en cuenta que los ejes tienen ya una limitación de desplazamiento no se debe forzar ya que generará un error el ingreso de valores está en unidades de milímetros.

El botón de paro de emergencia en todas las pantallas es por cuestión de seguridad ya que la pantalla tiene una manipulación directa con el operador.

Debe mantenerse a una distancia prudencial del espacio de trabajo del robot.

Para cuando se requiera dar el mantenimiento se lo haga cuando el robot no esté energizado.

Anexo Q: Encuesta



FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA, ESCUELA DE INGENIERÍA  
ELECTRÓNICA, CONTROL Y REDES INDUSTRIALES

Empresa.....

FECHA.....

**Planteamiento del problema.**

¿Cuáles son los factores que inciden en el incipiente desarrollo de sistemas robóticos industriales con tecnología GENERIC MOTION CONTROL y POWERLINK en la manipulación de procesos industriales y tareas programadas?

Instrucciones Por favor lea detenidamente cada pregunta y marque con una X la respuesta que usted considere sea la adecuada al Cuestionario.

1. ¿Conoce usted el protocolo de comunicación ETHERNET POWERLINK?

Si

No

2. ¿Conoce usted los módulos estándar de programación MOTION CONTROL?

Si

No

3. ¿Conoce usted las ventajas que se obtiene al utilizar el protocolo de comunicación POWERLINK y los módulos de programación MOTION CONTROL?

Si

No

4. ¿Conoce usted qué variables se pueden obtener del control en un sistema robótico industrial con MOTION CONTROL y POWERLINK?

Si

No

5. ¿En la empresa que usted labora se ocupa un PC industrial o un PLC?

PC Industrial

PLC

6. ¿En su sistema industrial ocupa el mismo bus de campo para todos sus elementos sin requerir una tarjeta adicional?

Si

No

7. ¿En la empresa que usted labora qué marca de equipo industrial ocupa?

8. ¿Conoce usted de alguna fuente de publicaciones de avances tecnológicos realizados en Ecuador?

Si

No

**Anexo R:** fotos construcción robot

