



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA**

**CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**Trabajo Estructurado de Manera Independiente, Previo a la Obtención del  
Título de Ingeniero Mecánico.**

**TEMA:**

---

SERVOMOTORES MITSUBISHI (HF-KE43KW1-S100) PARA DETERMINAR  
POSICIONAMIENTO Y MOVIMIENTOS PROGRAMADOS EN UN ROBOT  
CARTESIANO DE TRES EJES EN EL LABORATORIO DE CONTROL DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA.

---

**AUTOR:**

**EGDO. PILAMALA BONILLA MARCO PAUL**

**AMBATO – ECUADOR**

**2015**

## CERTIFICACIÓN

En mi calidad de tutor del trabajo de investigación sobre el tema: “SERVOMOTORES MITSUBISHI (HF-KE43KW1-S100) PARA DETERMINAR POSICIONAMIENTO Y MOVIMIENTOS PROGRAMADOS EN UN ROBOT CARTESIANO DE TRES EJES EN EL LABORATORIO DE CONTROL DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA.”, elaborado por el Sr. PILAMALA BONILLA MARCO PAUL, egresado de la carrera de Ingeniería Mecánica, considero que dicho informe reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la evaluación de jurado examinador designado por el H. Consejo.

Ambato, Abril del 2015

TUTOR

-----  
Ing. Mauricio Carrillo

## **AUTORÍA**

El contenido de la presente investigación desarrollada bajo el tema “SERVOMOTORES MITSUBISHI (HF-KE43KW1-S100) PARA DETERMINAR POSICIONAMIENTO Y MOVIMIENTOS PROGRAMADOS EN UN ROBOT CARTESIANO DE TRES EJES EN EL LABORATORIO DE CONTROL DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA”, así como las opiniones e ideas, vertidas, comentarios de resultados y análisis son de exclusiva responsabilidad del autor.

Ambato, Abril del 2015

## **AUTOR**

-----  
Egdo. Pilamala Bonilla Marco Paúl

C.I. 180403044-1

## DEDICATORIA

*Esta investigación va dedicada en primer lugar a Dios y a la Virgen por haberme guiado en el camino de la vida, en darme fuerzas para continuar adelante con mis estudios en darme salud que es lo más importante para alcanzar las metas planteadas.*

*En segundo lugar se lo dedico a toda mi familia, que me han sabido apoyar en todo momento ya que sin el apoyo de ellos no pudiera alcanzar este objetivo tan anhelado de mi vida.*

*Marco Pilamala*

## **AGRADECIMIENTO.**

*Mis más sinceros agradecimiento a mis padres que se sacrificaron para poder culminar mis estudios, a mis hermanos que con sus consejos y apoyo en todo para poder seguir adelante en este camino difícil que se ha logrado enfrentar los retos y poder culminar con éxito este objetivo planteado en la vida.*

*A la Universidad Técnica de Ambato, a la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, por haberme dado la oportunidad de culminar mis estudios en sus aulas llenas de sabiduría y glorias.*

*A mis maestros, que impartieron sus conocimientos siendo estos aprovechados al máximo para solucionar problemas en la vida profesional.*

*Marco Pilamala*

## INDICE

CERTIFICACIÓN .....	II
AUTORÍA.....	III
DEDICATORIA .....	IV
AGRADECIMIENTO. ....	V
ÍNDICE DE FIGURAS.....	X
ÍNDICE DE TABLAS .....	XII
RESUMEN EJECUTIVO .....	XIII
SUMMARY .....	XIV
CAPÍTULO I.....	1
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	1
1.1. TEMA .....	1
1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	1
1.2.1. Contextualización del problema.....	1
1.2.2. Análisis crítico .....	2
1.2.3. Prognosis .....	3
1.2.4. Formulación del problema .....	3
1.2.5. Preguntas directrices .....	3
1.2.6. Delimitación del objeto de investigación.....	3
1.3. JUSTIFICACIÓN.....	4
1.4. OBJETIVOS.....	4
1.4.1. Objetivo General .....	4
1.4.2. Objetivos Específicos.....	5
CAPÍTULO II .....	6
MARCO TEÓRICO.....	6
2.1. ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS. ....	6
2.2. FUNDAMENTACIÓN FILOSÓFICA .....	7
2.3. CATEGORÍAS FUNDAMENTALES.....	7
2.3.1. Servomotores mitsubishi (KE43KW1-S100).....	8
2.3.1.1. especificaciones del servomotor KE43KW1-S100.....	8
2.3.1.2. Dimensiones del servomotor.....	9
2.3.1.3. Características de torque vs velocidad del servomotor. ....	10

2.3.2. Servomotor.....	10
2.3.2.1 Servomotores de ca. ....	10
2.3.4. Electrónica.....	13
2.3.4.1. Aplicaciones de la electrónica.....	14
2.3.4.2. Sistemas electrónicos digitales.....	15
2.3.4.3. Señales electrónicas. ....	16
2.3.4.4. Electrónica digital. ....	16
2.3.5. Diseño en ingeniería mecánica.....	17
2.3.6. Automatización industrial .....	18
2.3.6.1. Objetivos de la automatización. ....	18
2.3.7. Sistemas de medición y control.....	19
2.3.7.1 Sistemas de medición y control.....	19
2.3.7.2. Interfaz de entrada/salida .....	21
2.3.7.3. Controladores lógicos programables.....	22
2.3.7.4. Partes de un controlador lógico programable.....	23
2.3.7.5. Sección de entrada/salida. ....	23
2.3.7.6. Sistema de memorias del plc.....	24
2.3.7.7. Interfaz de entrada/salida del plc.....	25
2.3.8. La mecánica y el control de los manipuladores mecánicos. ....	26
2.3.8.1. Cinemática directa da los manipuladores.....	26
2.3.8.2. Robot cartesiano.....	27
2.3.8.3. Sistemas de coordenadas y control de movimientos en el control numérico.....	29
2.4. HIPÓTESIS .....	34
2.5. SEÑALAMIENTO DE VARIABLES. ....	34
CAPÍTULO III.....	35
3. METODOLOGÍA. ....	35
3.1. ENFOQUE.....	35
3.2. MODALIDAD BÁSICA DE LA INVESTIGACIÓN.....	35
3.3. NIVEL O TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	35
3.4. POBLACIÓN Y MUESTRA. ....	36
3.5. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES.....	36

3.6. RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN.....	39
3.7. PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS.....	39
CAPÍTULO IV.....	40
4. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	40
4.1. PARÁMETROS DE FUNCIONAMIENTO.....	41
4.2. CONFIGURACIÓN DE LOS SERVODRIVERS. ....	41
4.2.1. Elementos de mando. ....	41
4.2.2. Configuración del Servo Driver MR-E Súper.....	41
4.2.2.1. Ajuste de parámetros del servo driver MR-E Súper. ....	42
4.2.3. Configuración del Servo Driver MR- J3-A.....	44
4.2.3.1. Descripción de los parámetros básicos. ....	45
4.2.3.2. Señales de entrada para el control de posición del servo amplificador MR- J3. ....	46
4.3. PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DEL ROBOT CARTESIANO.....	47
4.3.1. Pruebas de control para el eje “Z”.....	47
4.3.2. Pruebas de control para el eje “Y”.....	49
4.3.3. Pruebas de control para el eje “X”.....	51
4.4. INTERPRETACIÓN DE DATOS. ....	55
4.5. VERIFICACIÓN DE LA HIPÓTESIS.....	56
CAPÍTULO V.....	58
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES. ....	58
5.1. CONCLUSIONES. ....	58
5.2. RECOMENDACIONES. ....	59
CAPÍTULO VI.....	60
6. PROPUESTA.....	60
6.1. DATOS INFORMATIVOS.....	60
6.1.1. Título.....	60
6.1.2. Institución Ejecutora. ....	60
6.1.3. Beneficiarios. ....	60
6.1.4. Ubicación. ....	60
6.1.5. Equipo Técnico Responsable.....	60
6.1.6. Costo. ....	60



6.2. ANTECEDENTES DE LA PROPUESTA.....	61
6.3. JUSTIFICACIÓN.....	61
6.4. OBJETIVOS.....	62
6.4.1. Objetivo General.....	62
6.4.2. Objetivo Específico.....	62
6.5. ANÁLISIS DE FACTIVILIDAD.....	62
6.6. FUNDAMENTACIÓN.....	63
6.6.1. Diseño del robot cartesiano.....	63
6.6.2. Diseño de la coordenada z.....	64
6.6.3. Cálculo de los ejes guías en “z”.....	67
6.6.4. Diseño de la coordenada Y.....	69
6.6.5. Cálculo de los ejes guía de la coordenada y.....	72
6.6.6. Diseño del eje de la coordenada x.....	74
6.6.7. Cálculo de los Ejes Guía de la Coordenada x.....	76
6.6.8. Diámetro del Tornillo de Potencia Para la Coordenada Z.....	78
6.6.9. Cálculo del Diámetro del Tornillo de Potencia Para La Coordenada Y.....	81
6.6.10. Cálculo del Diámetro de Tornillo de Potencia Para la Coordenada X.....	83
6.6.11. Selección del Tornillo de Potencia.....	86
6.6.12. Selección de los rodamientos.....	87
6.6.13. Diseño del Sistema Eléctrico Para el Tablero de Control.....	93
6.6.14. Conexiones con equipos periféricos del servo driver MR-E Súper.....	93
6.6.15. Configuración eléctrica del servo driver MR-E Super.....	94
6.6.16. Conexiones con equipos periféricos del servo driver MR-J3-A.....	96
6.6.17. Conexión eléctrica del servo amplificador MR-J3.....	97
6.6.18. Diagrama de Control Eléctrico.....	98
6.6.19. Control del PLC - Servo Drivers.....	99
6.6.20. Diagramas de Conexiones del PLC y Servo Drivers.....	101
6.6.21. Flujograma de Funcionamiento del Robot Cartesiano.....	110
6.7. METODOLOGÍA.....	111
6.8. ADMINISTRACIÓN.....	112
6.8.1. Costos Directos.....	112
6.8.2. Costos Indirectos.....	113

6.8.3. Costo Total del Proyecto.....	114
6.8.4. Financiamiento.....	115
6.9. PREVISIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	115
7. BIBLIOGRAFÍA.....	116
ANEXOS .....	118
PLANOS .....	130

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 2.1:</b> Categorías Fundamentales.....	7
<b>Figura 2.2:</b> Dimensión del servomotor Mitsubishi (HF KE43KW1-S100).....	9
<b>Figura 2.3:</b> Torque vs velocidad .....	10
<b>Figura 2.4:</b> Esquema de del servomotor .....	12
<b>Figura 2.5:</b> Esquema del Driver.....	13
<b>Figura 2.6:</b> Placa electrónica.....	14
<b>Figura 2.7:</b> Lógica Positiva y Lógica Negativa .....	17
<b>Figura 2.8:</b> Control de procesos y las redes de comunicación industrial.....	20
<b>Figura 2.9:</b> Estructura básica de la interfaz.....	22
<b>Figura 2.10:</b> Diagrama de bloque de un PLC. ....	23
<b>Figura 2.11:</b> Entradas y salidas digitales del PLC. ....	24
<b>Figura 2.12:</b> Sistemas de coordenadas o trama.....	27
<b>Figura 2.13:</b> Robot cartesiano.....	28
<b>Figura 2.14:</b> Configuración básica de robots manipuladores industriales. ....	29
<b>Figura 2.15:</b> Sistemas de coordenadas que se usa en el control numérico .....	30
<b>Figura 4.1:</b> Pantalla de visualización para el eje z.....	48
<b>Figura 4.2:</b> Movimiento de arriba hacia abajo del eje Z.....	48
<b>Figura 4.3:</b> Panel de visualización del eje y.....	49
<b>Figura 4.4:</b> Trayectoria eje “Y”. ....	50
<b>Figura 4.5:</b> Posición del eslabón “y” en varios puntos. ....	51
<b>Figura 4.6:</b> Pantalla de visualización para el eje “x”. ....	52
<b>Figura 4.7:</b> Trayectoria del eje “x”. ....	53
<b>Figura 4.8:</b> Visualización del datos para los ejes (x, y). ....	54
<b>Figura 4.9:</b> Trayectoria de los ejes (x, y). ....	54
<b>Figura 4.10:</b> Trayectorias del eje (x, y).....	55

<b>Figura 6.1:</b> Esquema del robot Cartesiano (X, Y, Z).....	64
<b>Figura 6.2:</b> Diagrama de fuerzas en el eje Z.....	65
<b>Figura 6.3:</b> Diagrama de fuerza cortante y momento flector coordenada Z.....	67
<b>Figura 6.4:</b> Diagrama de fuerzas en el eje Y.....	70
<b>Figura 6.5:</b> Diagrama de fuerza cortante y momento flector coordenada Y.....	72
<b>Figura 6.6:</b> Diagrama de fuerzas en el eje X.....	74
<b>Figura 6.7:</b> Diagrama de fuerza cortante y momento flector coordenada X.....	76
<b>Figura 6.8:</b> Desplazamiento de la carga del tornillo de la coordenada Z.....	78
<b>Figura 6.9:</b> Diagrama de fuerza cortante y momento flector del tornillo del eje Z. .....	79
<b>Figura 6.10:</b> Desplazamiento de la carga del tornillo de la coordenada Y.....	81
<b>Figura 6.11:</b> Diagrama de fuerza cortante y momento flector tornillo del eje Y.	82
<b>Figura 6.12:</b> Desplazamiento de la carga del tornillo de la coordenada X.....	83
<b>Figura 6.13:</b> Diagrama de fuerza cortante y momento flector tornillo del eje X.	84
<b>Figura 6.14:</b> Husillos a bolas.....	86
<b>Figura 6.15:</b> Diagrama de cuerpo libre para seleccionar los rodamientos.....	87
<b>Figura 6.16:</b> Diagrama de cuerpo libre para seleccionar los rodamientos.....	89
<b>Figura 6.17:</b> Diagrama de cuerpo libre para seleccionar los rodamientos.....	91
<b>Figura 6.18:</b> Conexiones con equipos periféricos del servo driver MR-E Súper.	94
<b>Figura 6.19:</b> Configuración eléctrica del servo driver MR-E Súper.....	95
<b>Figura 6.20:</b> Conexiones con equipos periféricos del servo driver MR-J3-A. ....	96
<b>Figura 6.21:</b> Conexión eléctrica del servo amplificador MR-J3-A. ....	97
<b>Figura 6.22:</b> Diagrama de control eléctrico. ....	98
<b>Figura 6.23:</b> PLC XINJE XCM-32T4-E.....	99
<b>Figura 6.24:</b> Conexión del PLC XINJE XCM-32T4-E. ....	101
<b>Figura 6.25:</b> Conexión del PLC XINJE XCM-32T4-E entrada de los finales de carrera.....	102
<b>Figura 6.26:</b> Conexión del PLC hacia el servo driver MR-J3 Eje X. ....	102
<b>Figura 6.27:</b> Conexión del PLC hacia el servo driver MR-E 1 Eje Y. ....	103
<b>Figura 6.28:</b> Conexión del PLC hacia el servo driver MR-E 2 Eje Z.....	103
<b>Figura 6.29:</b> Programa almacenado en la memoria del PLC. ....	104

<b>Figura 6.30:</b> Programa almacenado en la memoria del PLC. ....	105
<b>Figura 6.31:</b> Programa almacenado en la memoria del PLC. ....	106
<b>Figura 6.32:</b> Programa almacenado en la memoria del PLC. ....	107
<b>Figura 6.33:</b> Pantalla de control. ....	108
<b>Figura 6.34:</b> Programa almacenado en la pantalla de control. ....	109
<b>Figura 6.35:</b> Flujograma de funcionamiento del Robot Cartesiano. ....	110
<b>Figura 6.36:</b> Metodología para la realización del Robot Cartesiano. ....	111

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 2.1:</b> Especificaciones del servomotor KE43KW1-S100. ....	8
<b>Tabla 3.1:</b> Variable Independiente. ....	37
<b>Tabla 3.2:</b> Variable Dependiente. ....	38
<b>Tabla 4.1:</b> Elementos de mando del servo driver MR-E Súper. ....	41
<b>Tabla 4.2:</b> Entradas de pulso del servo driver MR-E Súper. ....	42
<b>Tabla 4.3:</b> Modo de control del servo driver MR-E Súper. ....	42
<b>Tabla 4.4:</b> Parámetro contra escritura. ....	43
<b>Tabla 4.5:</b> Entradas de pulso del servo driver MR-E Súper. ....	44
<b>Tabla 4.6:</b> Modo de control de posición del servo driver MR-E Súper. ....	44
<b>Tabla 4.7:</b> Modo de control del servo driver MR-J3. ....	45
<b>Tabla 4.8:</b> Modo de control del servo driver MR-J3. ....	45
<b>Tabla 4.9:</b> Parámetro de protección contra escritura del driver MR-J3. ....	46
<b>Tabla 4.10:</b> Símbolos de las señales del driver MR-J3. ....	47
<b>Tabla 4.11:</b> Datos para T student. ....	56
<b>Tabla 4.12:</b> Datos obtenidos del T Student. ....	57
<b>Tabla 6.1:</b> Configuración eléctrica del servo driver MR-E Súper. ....	95
<b>Tabla 6.2:</b> Especificaciones PLC XINJE XCM 32T4-E. ....	100
<b>Tabla 6.3:</b> Costos Directos de materiales. ....	112
<b>Tabla 6.4:</b> Costos Indirectos. ....	113
<b>Tabla 6.5:</b> Costos mano de obra. ....	114
<b>Tabla 6.6:</b> Costos Total del Proyecto. ....	114

## **RESUMEN EJECUTIVO**

El proyecto de investigación “Servomotores Mitsubishi (KE43KW1-S100) Para Determinar Posicionamiento y Movimientos Programados en un Robot Cartesiano de Tres Ejes en el Laboratorio de Control de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica”, se da por la importancia de realizar un estudio de sistemas con servomotores ya que estos están teniendo un papel importante en el campo de la Automatización Industrial para realizar procesos que necesiten de precisión y un buen control en el posicionamiento de piezas u elementos en la industria, los robots cartesianos son muy importantes en la vida cotidiana de la industria para la realización de trabajos repetitivos y que se necesite de precisión por esta razón es el motivo de la implementación de un robot cartesiano en los laboratorios de control para adquirir los conocimientos necesarios para el manejo de los servomotores y la implementación de estos en robots.

Para verificar el correcto posicionamiento de los servomotores en un robot cartesiano de tres ejes (x, y, z), se realiza la codificación de los parámetros de funcionamiento en los servo drivers de los servomotores Mitsubishi los cuales son, modo de control opción regenerativa (parámetro 00), parámetro contra escritura (parámetro 19), selección pulso comando (parámetro 21). Con el diseño del robot cartesiano obtuvimos una buena selección de sistemas de guías y transmisión de potencia seguidamente se realizaron las pruebas de funcionamiento en el robot cartesiano para comprobar el sistema de guías con rodamientos lineales y la transmisión de potencia con husillos a bolas que sea óptimo para este proyecto ya que no existe fricción en los sistemas para obtener buenos resultados en el posicionamiento de los eslabones del robot cartesiano.

## **SUMMARY**

The research project "Mitsubishi Servo (KE43KW1-S100) To determine Positioning and Motion Programmed in Cartesian Robot Three Axes Control Laboratory of the Faculty of Civil Engineering and Mechanics", is given by the importance of a study servo systems as these are having an important role in the field of Industrial Automation for processes that require precision and good control in the positioning of parts or elements in the industry, Cartesian robots are very important in everyday life industry to perform repetitive jobs that need precision therefore is the reason for the implementation of a Cartesian robot control laboratories to acquire the knowledge necessary to manage servomotors and implementation of these in robots.

For the implementation of the servomotors you start with coding operating parameters in servo drivers which are detailed in Chapter IV, then proceed with the completion of the test runs on the cartesian robot then check the system guides with linear bearings and power transmission spindles is optimal balls for this project because there is no friction in the system for good results in the positioning of the links of the cartesian robot.

## **CAPÍTULO I**

### **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

#### **1.1. TEMA**

SERVOMOTORES MITSUBISHI (KE43KW1-S100) PARA DETERMINAR POSICIONAMIENTO Y MOVIMIENTOS PROGRAMADOS EN UN ROBOT CARTESIANO DE TRES EJES EN EL LABORATORIO DE CONTROL DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA.

#### **1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

##### **CONTEXTUALIZACIÓN DEL PROBLEMA**

Los servomotores están tomando lugar en muchas actividades de la industria, en los cuales con sus extraordinarios desempeños que se puede realizar en la industria, por lo que se busca implementar soluciones de automatización de gran confiabilidad, se emplean en la potenciación de máquinas herramientas CNC, así como también en la automatización de plantas industriales y robóticas en general.

Los robots cartesianos son utilizados comúnmente para apilamientos de estructuras de volumen uniforme, así como aplicaciones dentro de la industria ya sea para tareas de soldadura, pintura, mecanización de piezas, etc. Existen muchos trabajos que las personas no las realizan, ya sea por ser aburrido o bien peligroso, siempre se va a tratar de evitar para no hacerlo. Ahora los robots son ideales para trabajos que requieren movimientos repetitivos y precisos.

El noventa por ciento de robots trabajan en fábricas, y más de la mitad construyen automóviles. Las compañías de autos son altamente automatizadas y la mayoría de los humanos supervisan o mantienen los robots y otras máquinas. Es así como la

concepción universal respecto del tema ha llevado a cada nación a organizarse con el objeto de configurar variados modelos al servicio de este objetivo. En este contexto siempre se concibió al Robot como un agente muy benéfico para realizar tareas repetitivas o delicadas.

Gracias a los avances tecnológicos la robótica en nuestro país ha mejorado considerablemente por lo que se puede visitar empresas o instituciones que estén implementando robots para realizar procesos repetitivos. En Ecuador, es necesario aportar con el desarrollo de los proyectos de automatización para la industria y los centros de investigación. Ecuador no puede depender solo de la tecnología extranjera ya que estas son de elevados costos, es por esto que son importantes los proyectos enfocados en el área de la automatización.

### **1.2.2. ANÁLISIS CRÍTICO**

En la medida que se profundiza y se amplía el fenómeno de globalización y de la liberación comercial, mayores son los desafíos competitivos para las empresas. Los diferentes acontecimientos a nivel nacional representan una desventaja para las empresas, porque requieren adoptar nuevos esquemas y formas de llevar a cabo la industrialización de sus productos.

La importancia del proyecto radica en que se está logrando introducir una nueva herramienta tecnológica para nuestro medio, porque una herramienta como ésta permitirá mejorar notablemente la calidad de los pequeños proyectos de electrónica, y además permitirá la proyección a la producción en serie.

La Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, ha procurado no quedarse afuera de los avances tecnológicos, es así que se ha incursionado en este campo, con el fin de optimizar recursos mediante el uso de estos dispositivos.

Por esta razón es imprescindible la necesidad de conocer el funcionamiento de un robot cartesiano con servomotores para la realización de movimientos programados ya que es parte importante en la industria.



### **1.2.3. PROGNOSIS**

Al no realizar este proyecto de investigación conduce a que siga existiendo la incertidumbre de conocer que tan eficiente resulta realizar un robot cartesiano con los servomotores Mitsubishi (KE43KW1-S100) y que garantice el correcto posicionamiento de los ejes del robot.

Al diseñar un robot cartesiano se estará evitando todos los problemas antes mencionados, por tal motivo al realizar los cambios correspondientes se espera una transformación en todos los aspectos.

### **1.2.4. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

¿Cómo realizar un correcto posicionamiento de los ejes de un robot cartesiano por medio de los servomotores Mitsubishi (KE43KW1-S100)?

### **1.2.5. PREGUNTAS DIRECTRICES**

¿Qué características eléctricas, poseen los servomotores Mitsubishi (KE43KW1-S100)?

¿Cuáles son las aplicaciones de los Robots Cartesianos?

¿Qué parámetros se tomará en cuenta para el posicionamiento de un robot cartesiano con servomotores Mitsubishi (KE43KW1-S100)?

### **1.2.6. DELIMITACIÓN DEL OBJETO DE INVESTIGACIÓN**

**CAMPO:** Ingeniería Mecánica

**ÁREA:** Control Industrial

**ASPECTO:** Robot Cartesiano

- **Delimitación espacial:** Esta investigación se llevara a cabo en el laboratorio de Control Industrial de la FICM.
- **Delimitación temporal:** El tiempo estimado para llevar a cabo esta investigación será de seis meses aproximadamente.

**Desde:** 21 de noviembre 2014

**Hasta:** 24 de abril 2015

### **1.3. JUSTIFICACIÓN**

La importancia de realizar esta investigación radica por los avances tecnológicos que en estos tiempos todo proceso ya sea artesanal o industrial está tendiendo a ser automatizado por máquinas que cumplan procesos de precisión y repetitivos, que sean difíciles de realizar para el ser humano, razón por la cual la industria de la automatización y la electrónica está desarrollando y en crecimiento, con el estudio de posicionamiento de los servomotores comprenderemos su funcionamiento y modo de trabajo ya que estos están siendo utilizados para la automatización de procesos de precisión.

Nuestro país se encuentra en una etapa de crecimiento, es por esto que la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica mediante la formación de profesionales capacitados busca contribuir con el desarrollo y el crecimiento de la industria nacional.

El sector productivo requiere de profesionales capaces de manejar la actual tecnología, una buena capacitación se realiza mediante la experimentación, el contacto físico con cada uno de los elementos que intervienen en un determinado proceso además de la creación de aplicaciones prácticas, crea en el futuro profesional la confianza y la seguridad para afrontar los retos futuros.

Por último, con el desarrollo de este proyecto se determinará que podemos diseñar y construir robots con similares características o funciones parecidas a los existentes fuera del país, estableciéndose de esta manera un avance tecnológico muy notable en nuestra industria electrónica.

### **1.4. OBJETIVOS**

#### **1.4.1. OBJETIVO GENERAL**

- Realizar mediante el uso de los servomotores Mitsubishi (KE43KW1-S100) posicionamiento de los tres ejes de un robot cartesiano.

#### **1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Identificar las características eléctricas que poseen los servomotores Mitsubishi (KE43KW1-S100).
- Investigar las aplicaciones de los robots cartesianos.
- Determinar los parámetros necesarios para un correcto posicionamiento del robot cartesiano con servomotores Mitsubishi (KE43KW1-S100).

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO.**

#### **2.1. ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS.**

Revisando los proyectos existentes en la biblioteca de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, se pudo apreciar que ningún trabajo existente tiene alguna relación con servomotores, sin embargo realizando consultas mediante el uso del internet se pudo encontrar proyectos relacionados con servomotores por lo que se ha tomado la decisión de hacer referencia con estos temas para la realización de este proyecto.

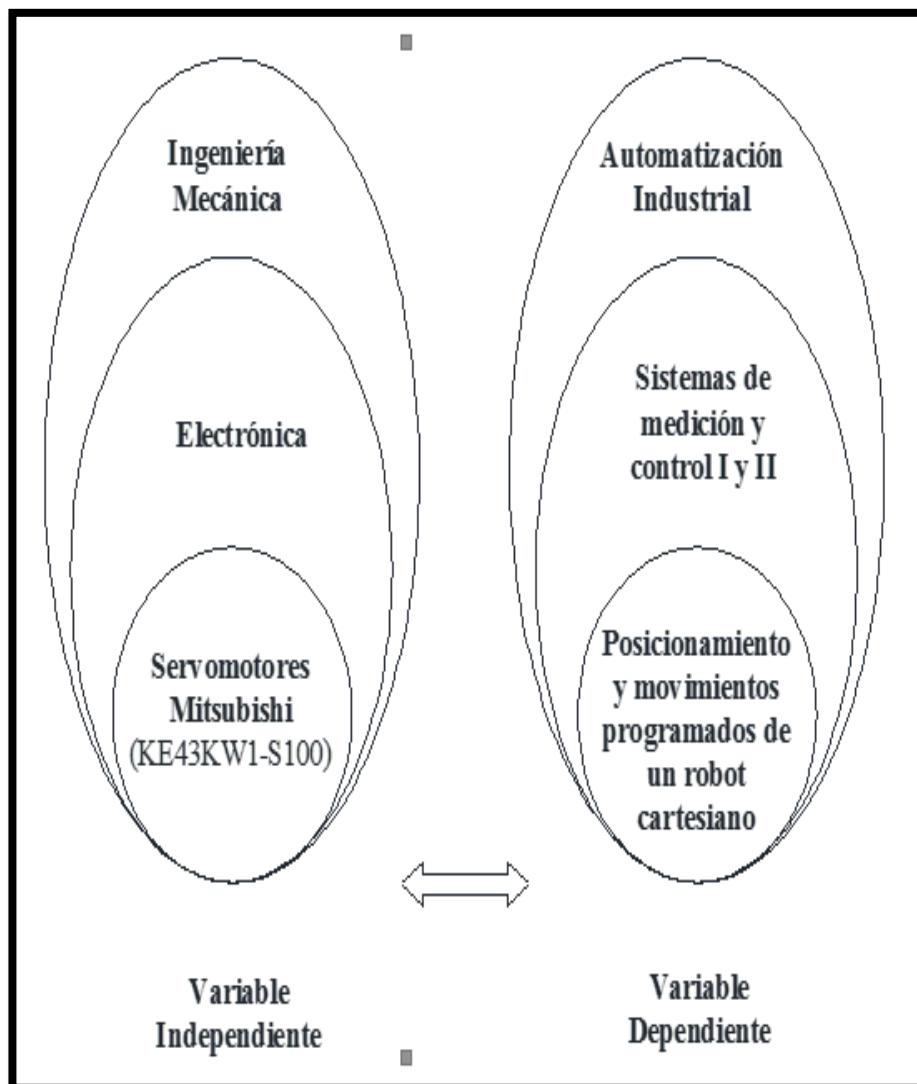
El trabajo realizado por Bladimir Roberto Harnisth Pinos de la ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO, con el tema “Diseño Y Construcción De Un Robot Para Impresión De Circuitos Electrónicos”. En la cuál concluye que “Se logró una estructura mecánica fuerte y suficientemente estable. El haber utilizado doble eje tanto en X como en Y, redujo por completo cualquier juego en el movimiento de la herramienta de trabajo”.

Otro trabajo importante es el realizado por Gisela Elizabeth Eivar Toscano de la UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO, Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial, con el tema “Diseño De Un Robot Cartesiano Para Ordenar Elementos Electrónicos (Circuitos Integrados)” En la cuál concluye que “De acuerdo a los cálculos del modelo Cinemático, a las características de los servomotores, de las partes mecánicas, se determinó una precisión en los ejes X, Y y Z de +/- 0.10 mm, por lo que se concluye que el sistema mecánico cumple con las características de precisión”.

## 2.2. FUNDAMENTACIÓN FILOSÓFICA

Esta investigación se fundamenta en el paradigma crítico – propositivo, ya que esta investigación no se detiene en la contemplación pasiva de los fenómenos, sino que además plantea alternativas de solución.

## 2.3. CATEGORÍAS FUNDAMENTALES.



**Figura 2.1:** Categorías Fundamentales

**Elaborado por:** Investigador (Marco Pilamala)

## 2.3.1. SERVOMOTORES MITSUBISHI (HF KE43KW1-S100).

### 2.3.1.1. ESPECIFICACIONES DEL SERVOMOTOR HF KE43KW1-S100.

**Tabla 2.1:** Especificaciones del servomotor KE43KW1-S100

Lineas de servo motores		HF-KE□(B)W1-S100 (baja inercia, capacidad pequeña)			
Modelo de servo motor		HF-KE13(B)W1-S100	HF-KE23(B)W1-S100	HF-KE43(B)W1-S100	HF-KE73(B)W1-S100
Modelo de servo amplificador		MR-E-10A/AG-KH003	MR-E-20A/AG-KH003	MR-E-40A/AG-KH003	MR-E-70A/AG-KH003
Capacidad de instalación de potencia (Nota 1) (kVA)		0.3	0.5	0.9	1.3
Régimen continuo	Salida nominal (W)	100	200	400	750
	Par motor nominal (N·m [oz·in])	0.32 (45.3)	0.64 (90.6)	1.3 (184)	2.4 (340)
Par motor máximo (N·m [oz·in])		0.95 (135)	1.9 (269)	3.8 (538)	7.2 (1020)
Velocidad nominal (r/min)		3000			
Velocidad máxima (r/min)		4500			
Velocidad instantánea permitida (r/min)		5175			
Índice de potencia a par motor nominal continuo (kW/s)		11.5	16.9	38.6	39.9
Corriente nominal (A)		0.8	1.4	2.7	5.2
Corriente máxima (A)		2.4	4.2	8.1	15.6
Frecuencia de freno regenerativo (veces/min) (Nota 2, 3)	Sin opcionales	(Nota 4)	(Nota 4)	249	140
	MR-RB032 (30W)	(Nota 4)	(Nota 4)	747	210
	MR-RB12 (100W)	—	(Nota 4)	2490	700
	MR-RB32 (300W)	—	—	—	2100
Momento de inercia J (x10 <sup>4</sup> kg·m <sup>2</sup> ) [J(oz·in <sup>2</sup> )]	Estándar	0.088 (0.481)	0.24 (1.31)	0.42 (2.30)	1.43 (7.82)
	Con freno electromagnético	0.090 (0.492)	0.31 (1.69)	0.50 (2.73)	1.63 (8.91)
Relación recomendada carga/momento de inercia del motor		Máximo de 15 veces de momentos de inercia del servo motor (Nota 5)			
Detector de velocidad/posición		Encoder incremental (resolución por rotación del servo motor : 131072 p/rev)			
Accesorios		—			
Estructura		Totalmente cerrado sin ventilación (nivel de protección: IP55) (Nota 6)			
Entorno	Temperatura ambiente	0 a 40°C (32 a 104°F) (sin congelación), almacenamiento: -15 a 70°C (5 a 158°F) (sin congelación)			
	Humedad ambiente	80% RH máximo (sin condensación), almacenamiento: 90% RH máximo (sin condensación)			
	Atmósfera	Interna (sin sol directo); sin gases corrosivos, inflamables, vapor de aceite ni polvo			
	Elevación/vibración (Nota 7)	1000 m o menos sobre el nivel del mar; X: 49m/s <sup>2</sup> Y: 49m/s <sup>2</sup>			
Masa (kg [lb])	Estándar	0.56 (1.3)	0.94 (2.1)	1.5 (3.3)	2.9 (6.4)
	Con freno electromagnético	0.86 (1.9)	1.6 (3.6)	2.1 (4.7)	3.9 (8.6)

**Fuente:** MITSUBISHI ELECTRIC Servo amplifiers y motors.

#### Notas:

1. La capacidad de la instalación de potencia varía según la impedancia del suministro eléctrico ( Mitsubishi Electric, 2010).
2. La frecuencia de freno regenerativo muestra la frecuencia permitida cuando el motor, sin carga y la unidad de regeneración opcional, desacelera desde la velocidad nominal hasta la detención. Sin embargo, cuando se conecta una carga, el valor será el valor de la tabla / $(m+1)$ , donde  $m =$  (momento de inercia de la carga/momento de inercia del motor). Cuando la velocidad operativa excede la velocidad nominal, la frecuencia de freno regenerativo es inversamente proporcional al cuadrado de (velocidad operativa/velocidad nominal). Si cambia la velocidad operativa

frecuentemente o cuando la regeneración es constante (como con cargas verticales), encuentre el valor de calefacción regenerativo (W) en funcionamiento. Se deben tomar precauciones para mantener el valor de calefacción por debajo de la potencia regenerativa tolerable (W). La resistencia eléctrica óptima varía para cada sistema ( Mitsubishi Electric, 2010).

3. La frecuencia de freno regenerativo del servo amplificador de 600W o más pequeño puede fluctuar debido al efecto del voltaje de la potencia ya que la energía cargada por el capacitor electrolítico del servo amplificador es grande ( Mitsubishi Electric, 2010).

4. No hay límite a la frecuencia de regeneración siempre que el par motor efectivo se encuentre dentro del rango del par motor nominal. Sin embargo, la relación carga/momento de inercia del motor debe ser 15 veces o menos ( Mitsubishi Electric, 2010).

### 2.3.1.2 DIMENSIONES DEL SERVOMOTOR.

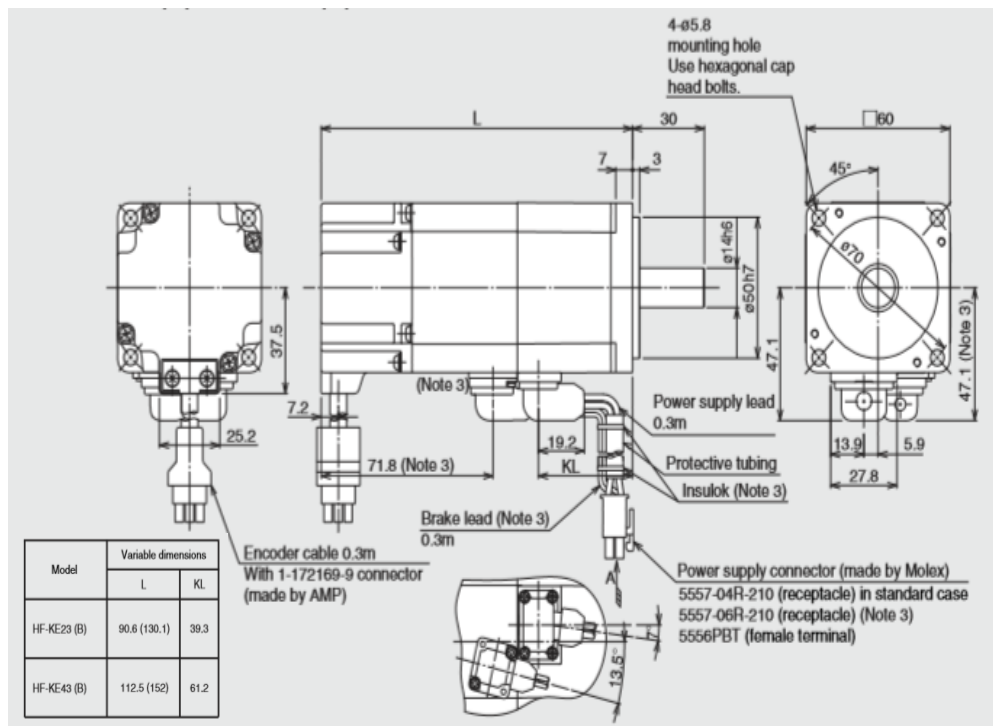
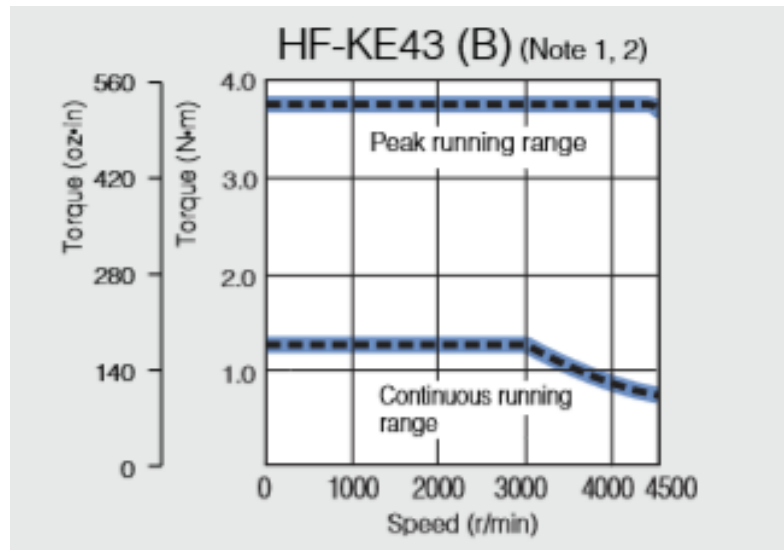


Figura 2.2: Dimensión del servomotor Mitsubishi (HF KE43KW1-S100).

Fuente: MITSUBISHI ELECTRIC Servo amplifiers y motors

### 2.3.1.3 CARACTERÍSTICAS DE TORQUE VS VELOCIDAD DEL SERVOMOTOR.



**Figura 2.3:** Torque vs velocidad

**Fuente:** MITSUBISHI ELECTRIC Servo amplifiers y motors

### 2.3.2. SERVOMOTOR.

#### 2.3.2.1 SERVOMOTORES DE CA.

Para el accionamiento de ciertas potencias, el motor de corriente alterna presenta diversas ventajas frente al de corriente continua, la principal de ellas la ausencia de colector y escobillas. Dentro de los motores de alterna podemos distinguir los asíncronos y los síncronos (Balcells, 2007).

Un motor asíncrono convencional no es apropiado para muchos servosistemas que requieran cierta precisión a causa del deslizamiento y de la poca linealidad de las características par – velocidad. Se emplea, acompañado de variadores de frecuencia, para accionamiento de velocidad variable, donde gracias a un control en lazo cerrado puede ser obtenida precisiones aceptables (Balcells, 2007).

No obstante en sistemas de posicionamiento y pequeña potencia, los motores de alterna más utilizados son el síncrono y el de reluctancia, debido a la ausencia de



deslizamiento. A ellos se refiere habitualmente al hablar de servomotores de CA (Balcells, 2007).

Las formas constructivas del servomotor de CA pueden ser varias. Lo clásico en una máquina síncrona es disponer un devanado estatórico, alimentado con CA y un devanado rotórico, alimentado con CC a través de escobillas y un sistema de anillos rozantes. Sin embargo, en los servomotores el rotor suele estar constituido por un bloque de hierro o por un imán permanente, para evitar la existencia de escobillas. Las piezas polares y el rotor suelen tener forma dentada igual que en los motores paso a paso (Balcells, 2007).

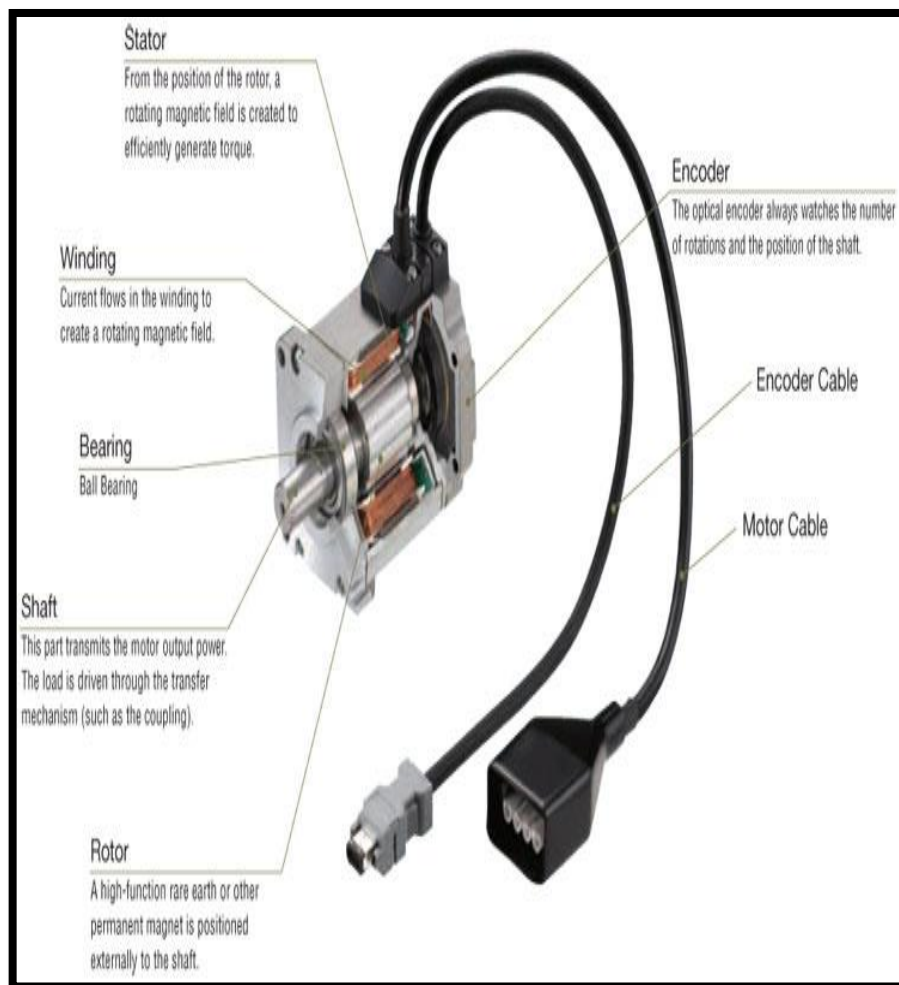
Los motores síncronos con rotor de imán permanente y los motores de reluctancia con rotor liso funcionan con devanado trifásico en el estator y con uno o más partes de polos por fase, de forma que se cree un campo giratorio sin saltos. Los parámetros esenciales de los que depende el funcionamiento del motor son los siguientes (Balcells, 2007).

- Velocidad.
- Frecuencia (hercios equivalentes a segundos<sup>-1</sup>).
- Pares de polos.
- Tensión de inducido (voltios).
- Corriente de inducido (amperios).
- Inductancia de cada devanado.
- Par motor.
- Constante de par.
- Potencia (Balcells, 2007).

Los servomotores con su correspondiente driver, son dispositivos de accionamiento para el control de precisión de velocidad, torque y posición. Estos reemplazan los accionamientos neumáticos e hidráulicos (salvo en aplicaciones de alto torque) y constituyen la alternativa de mejor desempeño frente a accionamientos mediante convertidores de frecuencia, ya que éstos no proporcionan control de posición y son poco efectivos a bajas velocidades, como frente a soluciones con motores paso a paso, ya que éstos últimos otorgan un control de posición no de tanta precisión y

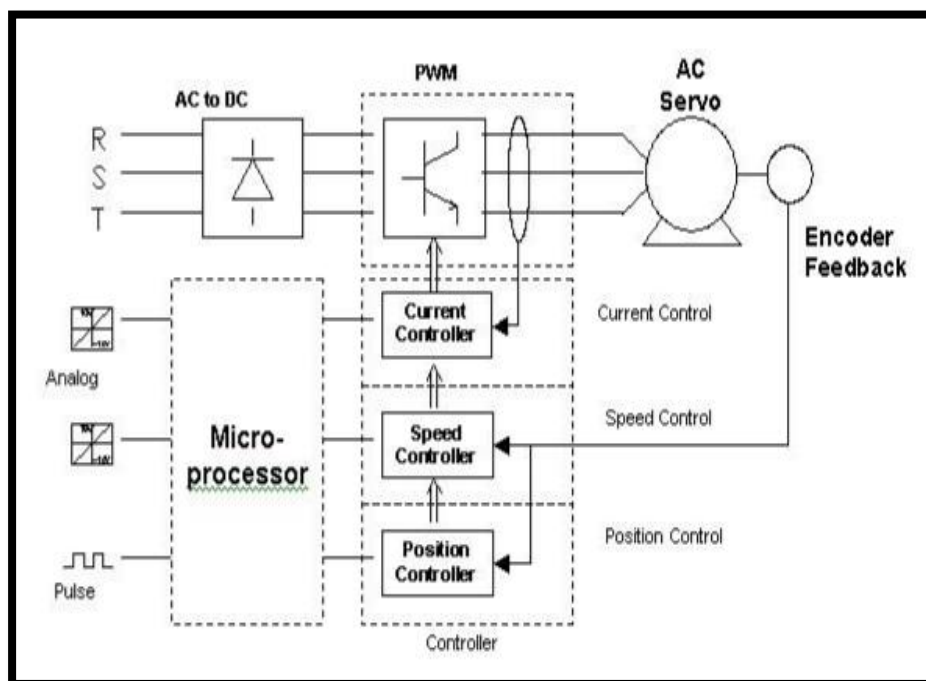
están limitados a aplicaciones de baja potencia. La principal desventaja de los sistemas con servomotores es que son en general más caro que las otras alternativas eléctricas (Balcells, 2007).

Básicamente es un servomotor, el que contiene en su interior un encoder y un amplificador (driver) que en su conjunto forman un circuito realimentado para comandar posición, torque y velocidad (Balcells, 2007).



**Figura 2.4:** Esquema de del servomotor

**Fuente:** Recuperado de la página  
(<http://www.emb.cl/electroindustria/articulo.mvc?xid=744&tip=7>)



**Figura 2.5:** Esquema del Driver

**Fuente:** Recuperado de la página

(<http://www.emb.cl/electroindustria/articulo.mvc?xid=744&tip=7>)

### 2.3.4. ELECTRÓNICA.

La electrónica es la rama de la física y especialización de la ingeniería, que estudia y emplea sistemas cuyo funcionamiento se basa en la conducción y el control del flujo de los electrones u otras partículas cargadas eléctricamente.

Utiliza una gran variedad de conocimientos, materiales y dispositivos, desde los semiconductores hasta las válvulas termoiónicas. El diseño y la gran construcción de circuitos electrónicos para resolver problemas prácticos forma parte de la electrónica y de los campos de la ingeniería electrónica, electromecánica y la informática en el diseño de software para su control. El estudio de nuevos dispositivos semiconductores y su tecnología se suele considerar una rama de la física, más concretamente en la rama de ingeniería de materiales. (Nashelsky & Boylestad, 2003)



**Figura 2.6:** Placa electrónica.

**Fuente:** Recuperado de (<http://meteoyelectronica.blogspot.com/2010/12/que-electronica-usar-para-control-de-la.html>)

#### **2.3.4.1. APLICACIONES DE LA ELECTRÓNICA.**

La electrónica desarrolla en la actualidad una gran variedad de tareas. Los principales usos de los circuitos electrónicos son el control, el procesado, la distribución de información, la conversión y la distribución de la energía eléctrica. Estos usos implican la creación o la detección de campos electromagnéticos y corrientes eléctricas. Entonces se puede decir que la electrónica abarca en general las siguientes áreas de aplicación:

- Electrónica de control.
- Telecomunicaciones.
- Electrónica de potencia (Nashelsky & Boylestad, 2003).

#### 2.3.4.2. SISTEMAS ELECTRÓNICOS DIGITALES.

Conocemos como Sistemas Electrónicos Digitales aquellos circuitos que realizan el procesado de la información cuando ésta se codifica en formato digital.

Entendemos por Sistema Electrónico Digital (SED) aquél que realiza un procesado sobre un conjunto de datos de entrada y produce una información de salida, como resultado de aplicar un algoritmo determinado (Sanchis, 2002).

El campo de aplicación de los sistemas electrónicos digitales es inmenso y por ello resulta prácticamente imposible enumerarlos. Hoy en día casi todos los equipos electrónicos, tales como los sistemas de control, de procesado de datos, contienen o conforman unos sistemas electrónicos digitales (Sanchis, 2002).

Según el modo como se realiza el procesado tenemos dos alternativas para su implementación:

**Sistemas cableados:** En este tipo de sistemas el algoritmo está definido por la conexión física entre los diferentes elementos lógicos, de modo que cada algoritmo supone un circuito diferente. Las características básicas de los sistemas cableados las podemos resumir en las siguientes:

- Tiempo de procesado reducido.
- Diseño poco flexible, esto es, una vez establecido el circuito el algoritmo a ejecutar es siempre el mismo.
- Desarrollo costoso.
- Diseño para aplicación específica, es decir, el circuito sólo sirve para la aplicación prevista (Sanchis, 2002).

**Sistemas programables:** En estos sistemas el algoritmo se ejecuta como una secuencia de instrucciones, de modo que un mismo circuito puede realizar diferentes algoritmos tan sólo cambiando el programa. Las características de los sistemas programables son básicamente las siguientes:

- Tiempo de procesado elevado (habitualmente mayor que en los sistemas cableados).

- Diseño flexible, es decir, fácilmente adaptable a cambios en las especificaciones, con sólo cambiar el programa a ejecutar. Esta flexibilidad hace que los sistemas electrónicos digitales programables se ajusten a las necesidades particulares del usuario (Sanchis, 2002).

#### **2.3.4.3. SEÑALES ELECTRÓNICAS.**

Es la representación de un fenómeno físico o estado material a través de una relación establecida; las entradas y salidas de un sistema electrónico serán señales variables.

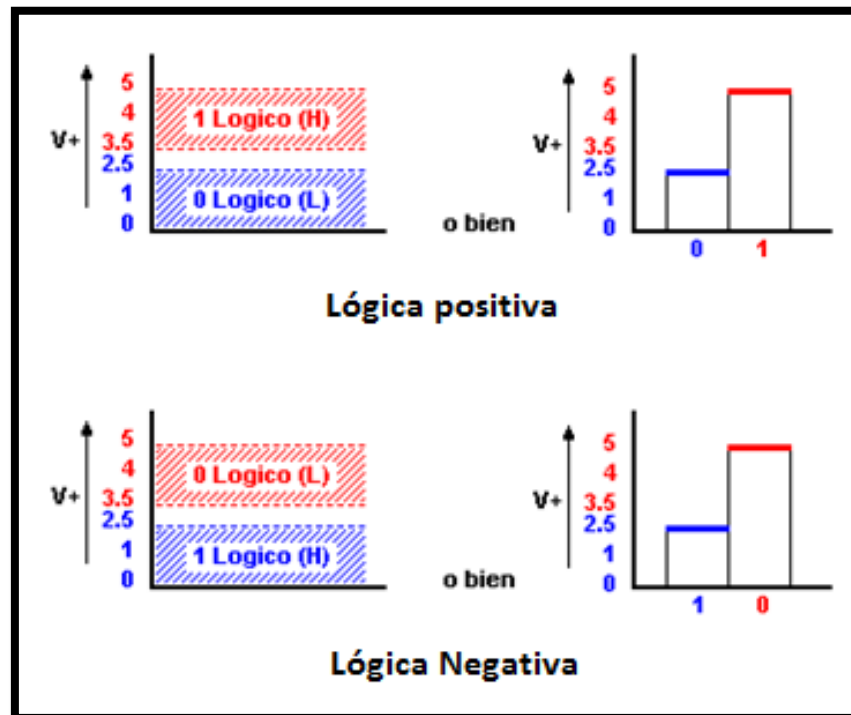
En electrónica se trabaja con variables que toman la forma de tensión o corriente estas se pueden denominar comúnmente señales. Las señales primordialmente pueden ser de dos tipos:

- **Variable analógica:** Son aquellas que pueden tomar un número infinito de valores comprendidos entre dos límites. La mayoría de los fenómenos de la vida real dan señales de este tipo. (presión, temperatura, etc.)
- **Variable digital:** También llamadas variables discretas, entendiéndose por estas, las variables que pueden tomar un número finito de valores. Por ser de fácil realización los componentes físicos con dos estados diferenciados, es este el número de valores utilizado para dichas variables, que por lo tanto son binarias. Siendo estas variables más fáciles de tratar (en lógica serían los valores V y F) son los que generalmente se utilizan para relacionar varias variables entre sí y con sus estados anteriores (Nashelsky & Boylestad, 2003).

#### **2.3.4.4. ELECTRÓNICA DIGITAL.**

La electrónica digital trabaja con circuitos que sólo contemplan dos estados posibles, verdaderos o falsos, sí o no, que se representan por la cifra binaria “1” y “0”. La forma de convertir esta información en impulsos eléctricos es asignar a cada uno de estos dos estados, o niveles lógicos, una cierta tensión eléctrica. A este respecto, se puede aplicar dos tipos de lógica: (Alcalde, 2009).

- **Lógica Positiva:** El “1” equivale a una tensión de nivel alto y el “0” una tensión de nivel bajo.
- **Lógica Negativa:** El “1” equivale a una tensión de nivel bajo y el “0” una tensión de nivel alto.



**Figura 2.7:** Lógica Positiva y Lógica Negativa

**Fuente:** (Alcalde, 2009)

### 2.3.5. DISEÑO EN INGENIERÍA MECÁNICA.

El diseño de elementos mecánicos o maquinados es parte integral del campo del diseño mecánico el cual es más extenso y general. En el diseño mecánico, un diseñador o ingeniero en diseño crea un dispositivo o sistemas que satisface una necesidad particular. Por lo regular, un dispositivo implica partes móviles que transmiten energía y logran un patrón específico de movimiento. Un sistema mecánico se compone de varios dispositivos mecánicos. (Mott, 2006)

Los productos del diseño mecánico resultan útiles en múltiples campos. Productos de consumo como podadoras, sierras de cadena, herramientas eléctricas, artículos de la industria o accesorios son dispositivos o aparatos mecánicos. Entre los

sistemas mecánicos que se emplea en la industria manufacturera se incluyen herramientas mecánicas, sistemas de ensamblado y empaque automatizado. (Mott, 2006)

### **2.3.6. AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL**

La Ingeniería en Automatización y Control Industrial es una rama de la ingeniería que aplica la integración de tecnologías de vanguardia que son utilizadas en el campo de la automatización y el control automático industrial las cuales son complementadas con disciplinas paralelas al área tales como los sistemas de control y supervisión de datos, la instrumentación industrial, el control de procesos y las redes de comunicación industrial.

Dentro de las metas que enmarcan esta disciplina se destacan:

- Generar proyectos de procesos en los cuales se maximicen los estándares de productividad y se preserve la integridad de las personas quienes los operan.
- La capacidad de procurar la mantención y optimización de los procesos que utilicen tecnologías de automatización.
- Utilizar criterios de programación para crear y optimizar procesos automatizados (Balcells, 2007).

#### **2.3.6.1. OBJETIVOS DE LA AUTOMATIZACIÓN.**

- Mejorar la productividad de la empresa, reduciendo los costes de la producción y mejorando la calidad de la misma.
- Mejorar las condiciones de trabajo del personal, suprimiendo los trabajos penosos e incrementando la seguridad.
- Realizar las operaciones imposibles de controlar intelectual o manualmente.
- Mejorar la disponibilidad de los productos, pudiendo proveer las cantidades necesarias en el momento preciso.
- Simplificar el mantenimiento de forma que el operario no requiera grandes conocimientos para la manipulación del proceso productivo (Balcells, 2007).



### **2.3.7. SISTEMAS DE MEDICIÓN Y CONTROL.**

El concepto de control industrial es extraordinariamente amplio, abarcando desde un simple interruptor que gobierna el encendido de una bombilla o el grifo que regula el paso de agua en una tubería, hasta el más complejo ordenador de proceso o el piloto automático de un avión.

Podríamos definir el control como la manipulación indirectas de las magnitudes de un sistema denominado planta a través de otro sistema llamado sistema de control.

La demandad en la industria de un sistema económico, robustos, flexibles, fácilmente modificable y con mayor facilidad para tratar con tenciones y corrientes fuertes que tenía el ordenador, hizo que se desarrollen los autómatas programables industriales abreviadamente API en la literatura castellana o PLC en la literatura anglosajona.

Los primeros autómatas pretendían, sustituir a los sistemas convencionales con relés o circuitos lógicos, con las ventajas evidentes que suponían tener un hardware. Por ello nacieron con prestaciones muy similares a las que ofrecían dichas tecnologías convencionales y sus lenguajes de programación (Balcells, 2007).

#### **2.3.7.1 SISTEMAS DE CONTROL.**

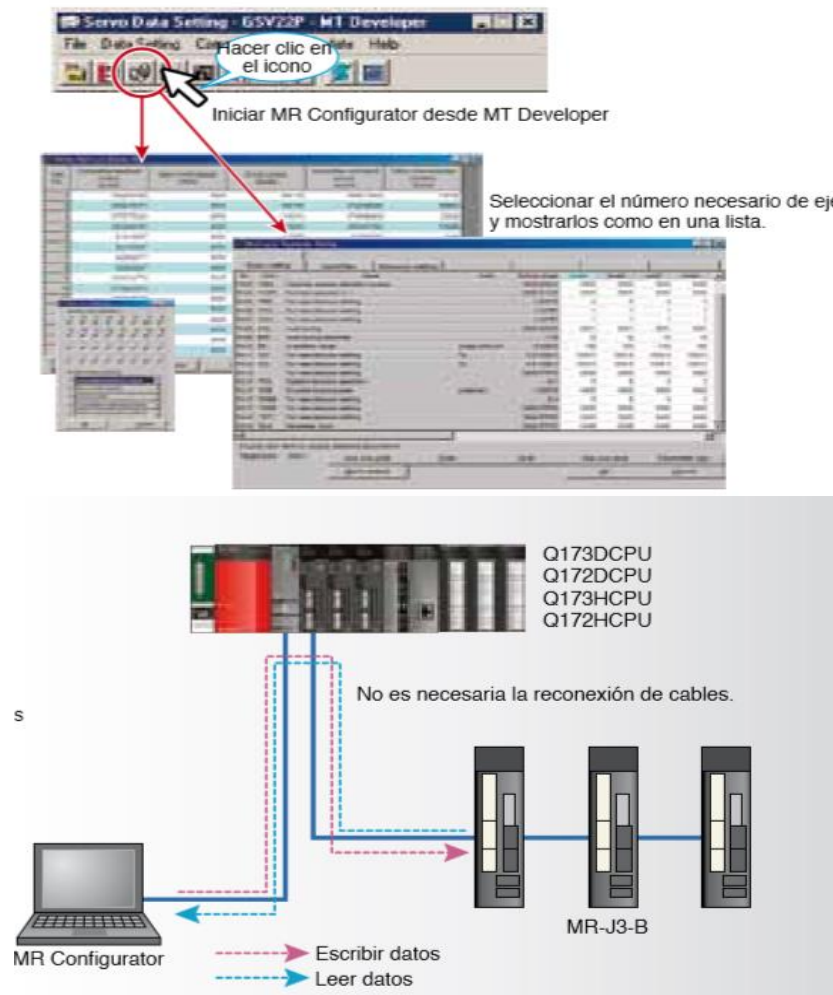
Según se ha indicado en la introducción, el objetivo de un sistema de control es el de gobernar la respuesta de una planta, sin que el operador intervenga directamente sobre sus elementos de salida. Dicho operador manipula únicamente las magnitudes denominadas de consigna y el sistema de control se encarga de gobernar dicha salida a través de los accionamientos (Balcells, 2007).

Lo habitual, sin embargo, es que el sistema de control se encargue de la toma de ciertas decisiones ante determinado de la planta, hablándose entonces de sistema automáticos de control. Para ello se requiere la existencia de unos sensores que detecten el comportamiento de dicha planta y de unas interfaces para adaptar las señales de los sensores a las entradas del sistema de control. Este tipo de sistema se

denomina en lazo cerrado, ya que su diagrama muestra claramente una estructura con una cadena directa y un retorno o realimentación formando un lazo de control.

Así pues, en el caso más general, podremos dividir el sistema de control en los siguientes bloques (Balcells, 2007):

- Unidad de control.
- Accionamientos.
- Sensores.
- Interfaz.



**Figura 2.8:** Control de procesos y las redes de comunicación industrial.

**Fuente:** MITSUBISHI ELECTRIC Servo amplifiers y motors

### 2.3.7.2. INTERFAZ DE ENTRADAD/SALIDA

El control de un proceso requiere siempre un diálogo operador-máquina y una comunicación entre máquina y sistema de control. Para el sistema de control, y más concretamente si es un autómeta, esto se traduce en que este reciba una serie de señales externas, una de mando y otra de realimentación que, en conjunto, constituye las entradas (Balcells, 2007).

#### **Tipos de interfaz de E/S.**

El termino interfaz se utiliza para designar cualquier bloque que sirve de enlace entre otros dos. Los bloques podrán trabajar, en general, con niveles distintos de tensión e incluso con códigos distintos. Así pues, las funciones de la interfaz son básicamente dos:

- Enlace a nivel de hardware (niveles y tipo de tensión).
- Enlace a nivel de código (estados lógicos, Conversión A/D o D/A, tipo de código digital).

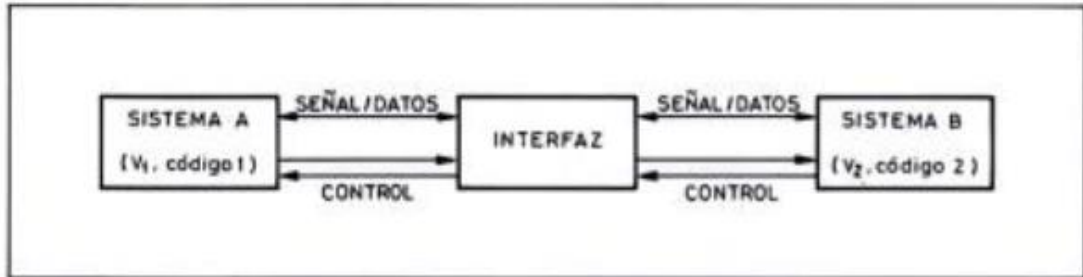
Dependiendo del tipo de señales que empleen los sistemas a enlazar, la interfaz puede tener mayor o menor complejidad A este respecto tanto las señales de mando como las de proceso en entornos industriales, podemos clasificar en los dos grandes grupos siguientes:

- **Señales todo o nada:** Codificación digital binaria (un solo bit).
- **Señales continuas con dos tipos posibles de codificación:** Codificación analógica, codificación digital en palabras de una determinada longitud (8 bits, 16 bits, etc.).

Dependiendo del sentido o sentidos de enlace las interfaces podrían ser:

- **Unidireccionales:** Transferencia de información en un solo sentido (entradas o salidas).

- **Bidireccionales:** posibilidad de transferencia en ambos sentidos ya sea conmutado de un sentido a otro o en ambos sentidos simultáneamente (Balcells, 2007).



**Figura 2.9:** Estructura básica de la interfaz.

**Fuente:** (Balcells, 2007).

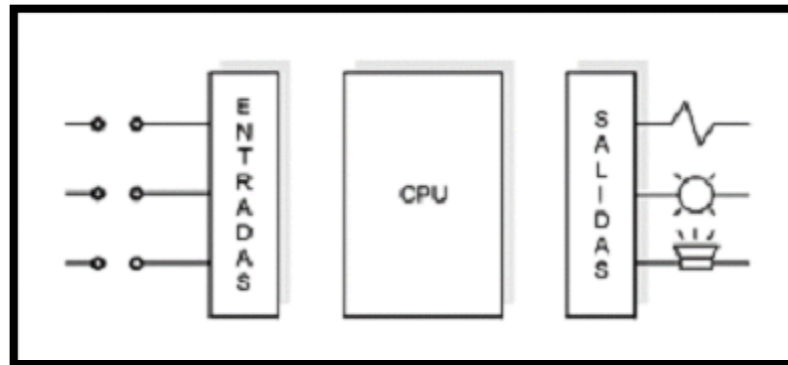
### 2.3.7.3. CONTROLADORES LÓGICOS PROGRAMABLES.

Los sistemas lógicos programables basados en transistores poseen las mismas ventajas que los circuitos electrónicos de estado sólido: son seguros, confiables pequeños, rápido y barato. Desde el punto de vista del usuario industrial, su única falla es que es difícil su modificación. Si es necesario modificarlos, deben hacerse cambios a las conexiones (tanto de cableado como de pista de cobre) entre sus dispositivos lógicos, o sustituir el dispositivo mismo. Tales cambios a los elementos físicos (al hardware) son indeseables por difíciles y lentos (Maloney, 2006).

Hoy en día se ha popularizado un enfoque fundamental distinto para la construcción de sistemas lógicos industriales. En este nuevo enfoque, la toma de decisiones del sistema se lleva a cabo por instrucciones codificadas las cuales están almacenadas en un circuito de memoria y ejecutadas por un microprocesador. Ahora, si se requiere modificar el sistema de control, basta con cambiar las instrucciones codificadas. Tales cambios se llama cambios de programación, o software, y se llevan a cabo rápidamente por un teclado. A este nuevo enfoque se le refiere a veces como automatización flexible, para diferenciarlo de la automatización dedicada estándar (Maloney, 2006).

#### 2.3.7.4. PARTES DE UN CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE.

Puede considerarse que los controladores lógicos programables (PLC, programmable logic controllers) están compuestos de tres partes: La sección de entrada/salida, el procesador y el dispositivo de programación o terminal (Maloney, 2006).



**Figura 2.10:** Diagrama de bloque de un PLC.

**Fuente:** (Maloney, 2006).

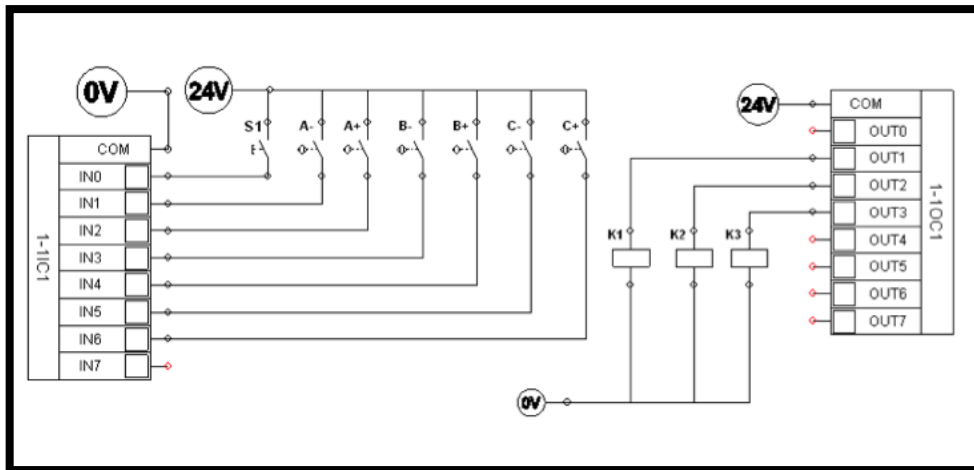
#### 2.3.7.5. SECCIÓN DE ENTRADA/SALIDA.

La sección de entrada/salida (E/S) de un controlador lógico programable se encarga del trabajo de intercomunicación entre los dispositivos industriales y los circuitos electrónicos de baja potencia que almacenan y ejecutan el programa de control.

LA sección de E/S de un contiene módulos de entrada y salida. Considérese que cada módulo de entrada es una tarjeta de circuito impreso que contiene convertidores de señal. Cada una de las terminales del módulo recibe una señal de alta potencia de un dispositivo de entrada y la convierte en una señal digital de baja potencia compatible con los circuitos electrónicos del procesador. Todos los módulos de entrada de los PLC modernos usan convertidores ópticos de señal para llevar a cabo el acoplamiento eléctricamente aislado entre los circuitos de entrada los elementos electrónicos del procesador (Maloney, 2006).

Considérese que cada módulo de salida es una tarjeta de circuito impreso que contiene amplificadores de salida. Cada amplificador de salida recibe del

procesador una señal digital de baja potencia y la convierte en una señal de alta potencia capaz de manejar una carga industrial. Un módulo de salida del PLC moderno tiene amplificadores con aislamiento óptico que usa un triac como el dispositivo de control de carga conectado en serie (Maloney, 2006).



**Figura 2.11:** Entradas y salidas digitales del PLC.

Fuente: Recuperado de la página

([http://wikifab.dimf.etsii.upm.es/wikifab/index.php/Usuario:1485\\_9126](http://wikifab.dimf.etsii.upm.es/wikifab/index.php/Usuario:1485_9126))

### 2.3.7.6. SISTEMA DE MEMORIAS DEL PLC.

Similar a la memoria de cualquier sistema microinformático, la memoria del autómatas es la parte donde se almacena toda la información (datos, constantes, instrucciones. etc.) necesaria para el correcto funcionamiento del sistema de control. Los datos que contienen las memorias internas del PLC son básicamente de dos tipos:

Datos del proceso:

- Señales provenientes de la planta o hacia ésta; es decir, las entradas y salidas del PLC respectivamente.
- Variables internas (mascas) de bit y de palabra.
- Datos alfanuméricos y constantes.

Datos de control:

- Instrucciones de usuario (programa de usuario)
- Datos de configuración del propio PLC (modo de funcionamiento, número de I/O conectadas, etc.)

#### **2.3.7.7. INTERFAZ DE ENTRADA/SALIDA DEL PLC.**

La interfaz de entrada y salida son los módulos o dispositivos del autómata programable encargados de realizar la unión o interfaz entre el proceso o planta y la CPU. En ellos se realizan una serie de acondicionados de la señal eléctrica que entra o sale del PLC (Domingo Peña, 2003).

En concreto, los módulos de entrada se encargan de:

- Amplificar la señal de entrada proveniente del dispositivo sensor.
- Adaptar los niveles de tensión de dicha señal.
- Filtrar la señal.
- Codificar la señal para que sea procesada de forma adecuada por la CPU.

Por otra parte, los módulos de salida se encargan de:

- Decodificar la información proveniente de la memoria imagen de salida.
- Amplificar la señal de salida decodificada.
- Adaptar los niveles de tensión de esa señal.

En la actualidad, para la inmensa mayoría de los autómatas programables modulares existentes (que van montados sobre un bastidor o rack) hay una gran variedad de módulos de entrada y salida comercializados, con lo cual estas interfaces pueden ser clasificadas de forma muy diversa, es decir, atendiendo a diferentes criterios de selección. Por su parte, en autómatas de gama baja, que acostumbran a ser compactos, los tipos de interfaces suelen ser mucho más limitados (Domingo Peña, 2003).

### **2.3.8. LA MECÁNICA Y EL CONTROL DE LOS MANIPULADORES MECÁNICOS.**

En el estudio de la robótica se preocupa constantemente por la ubicación de los objetos en el espacio tridimensional. Estos objetos son los vínculos del manipulador, las piezas y herramientas con las que trabaja y los demás objetos en el entorno del manipulador. A un nivel básico pero imponente, estos objetos se describen mediante sólo dos atributos: posición y orientación (Craig, 2006).

Para poder describir la posición y orientación de un cuerpo en el espacio, siempre adjunta rígidamente un tema de coordenadas, o trama, al objeto. Después describe la posición y orientación de esta trama con respecto a algún sistema de coordenadas de referencia.

Cualquier trama puede servir como sistema de referencia dentro del cual se pueda expresar la posición y orientación de un cuerpo, por lo que a menudo pretende transformar o cambiar la descripción de estos atributos de un cuerpo de una trama a otra (Craig, 2006).

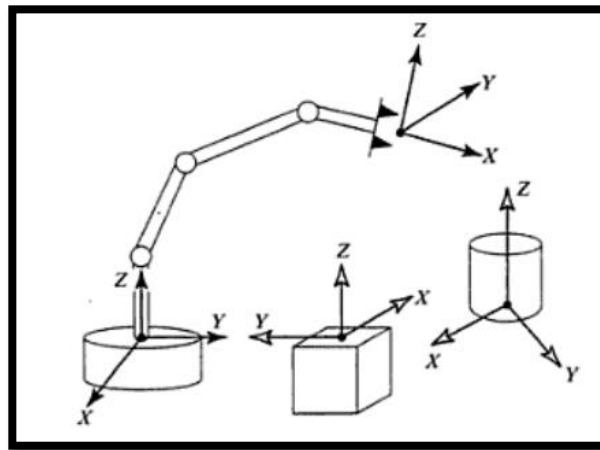
#### **2.3.8.1. CINEMÁTICA DIRECTA DE LOS MANIPULADORES.**

La cinemática es la ciencia que trata el movimiento sin considerar las fuerzas que lo ocasionan. Dentro de la cinemática se estudian la posición, velocidad, aceleración y todas las derivadas de mayor orden de las variables de posición (respecto al tiempo o a cualquier otra variable) (Craig, 2006).

Los manipuladores consisten de vínculos casi rígidos, los cuales están conectados por articulaciones que permiten el movimiento relativo de los vínculos adyacentes. Estas articulaciones generalmente se instrumentan con sensores de posición, los cuales permiten medir la posición relativa de los vínculos adyacentes. En el caso de las articulaciones giratorias o angulares, estos desplazamientos se conocen como ángulos articulados. Algunos manipuladores contienen articulaciones deslizantes (o primarias), en la que el desplazamiento relativo entre los vínculos es una translación, algunas veces llamada desplazamiento de articulación (Craig, 2006).



El número de grados de libertad que posee un manipulador es el número de variables de posición independientes que tendrían que especificarse para poder localizar todas las piezas del mecanismo. Éste es un término general que se utiliza para cualquier mecanismo. Por ejemplo, un vínculo de cuatro barras sólo tiene un grado de libertad (incluso aunque haya tres miembros móviles). En el caso de los robots industriales comunes, como un manipulador es generalmente una cadena cinemática abierta y como la posición de cada articulación se define generalmente con una sola variable, el número de articulaciones es igual al número de grados de libertad (Craig, 2006).



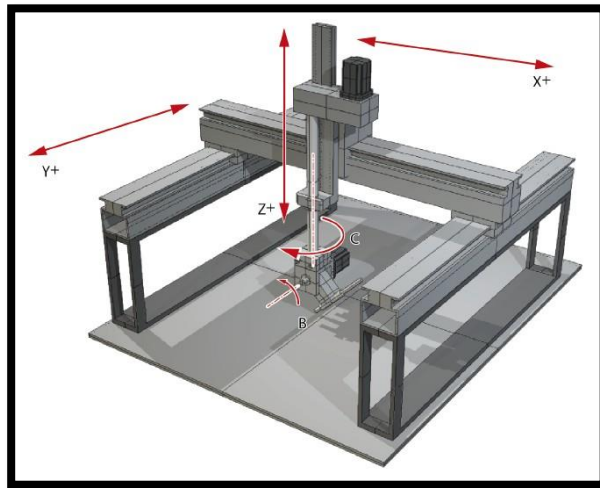
**Figura 2.12:** Sistemas de coordenadas o trama.

**Fuente:** (Craig, 2006).

### 2.3.8.2. ROBOT CARTESIANO.

Un robot de coordenadas cartesianas (también llamado robot cartesiano) es un robot industrial cuyos tres ejes principales de control son lineales (se mueven en línea recta en lugar de rotar) y forman ángulos rectos unos respecto de los otros. Además de otras características, esta configuración mecánica simplifica las ecuaciones en el control de los brazos robóticos. Los robots de coordenadas cartesianas con el eje horizontal limitado y apoyado en sus extremos se denominan robots pórtico y normalmente son bastante grandes. (Baturone , 2001)

Una aplicación muy extendida para este tipo de robots es la máquina de control numérico (CNC). Las aplicaciones más sencillas son las usadas en las máquinas de fresado o dibujo, donde un taladro o pluma se traslada a lo largo de un plano x-y mientras la herramienta sube y baja sobre la superficie para crear un preciso diseño.



**Figura 2.13:** Robot cartesiano

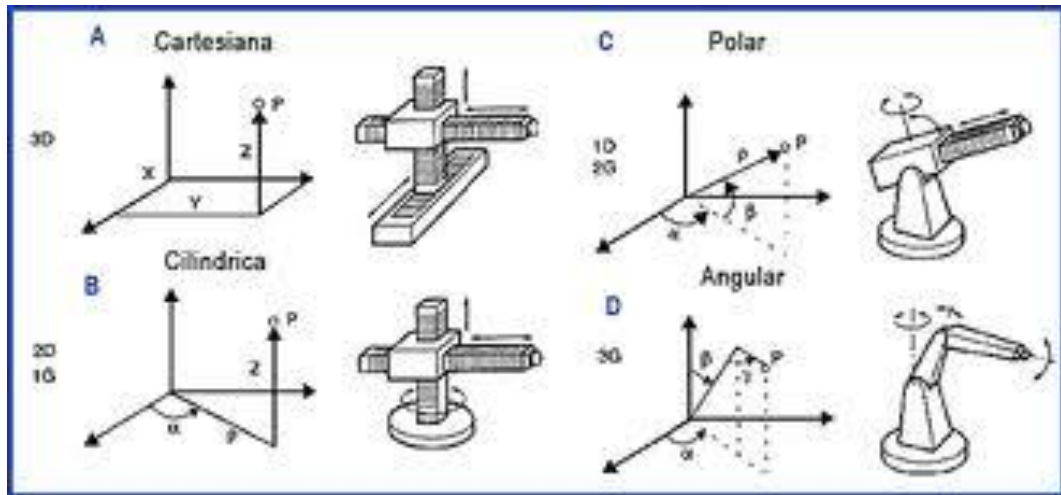
**Fuente:** Recuperado de la página

(<http://rammstein123.blogspot.com/2008/09/robot-cartesiano.html>)

El robot cartesiano, dentro de la clasificación general de los robots, es un robot industrial, que 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 de trabajo, por lo que le da al robot una gran flexibilidad y posibilita su adaptación a muy diversas tareas y medios de trabajo. (Baturone , 2001)

Los robots cartesianos o XYZ se aplican en un número ilimitado de funciones, no obstante, la práctica ha demostrado que su adaptación es óptima en determinados procesos tales como: soldadura, paletización, impresión, corte y fresado.

Un robot cartesiano está configurado por tres movimientos lineales, es decir se desplaza sobre tres ejes, el X el Y y el Z, que son las coordenadas cartesianas, es por esto que también se los conoce como robots XYZ. (Baturone , 2001)



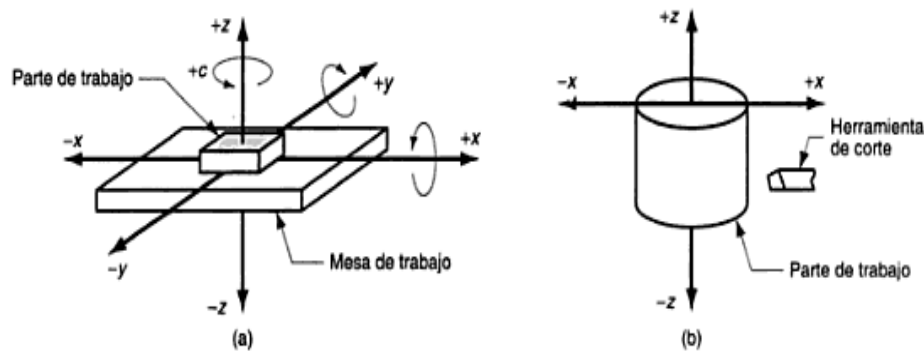
**Figura 2.14:** Configuración básica de robots manipuladores industriales.

**Fuente:** Baturone, A. (2001).

### 2.3.8.3. SISTEMAS DE COORDENADAS Y CONTROL DE MOVIMIENTOS EN EL CONTROL NUMÉRICO.

Para especificar las posiciones en el control numérico se usa un sistema de ejes de coordenadas estándar. El sistema consiste en los tres ejes lineales (x, y, z) del sistema de coordenadas cartesianas, además de tres ejes rotatorios (a, b, c). Los ejes rotatorios se usan para que la parte de trabajo gire y presente diferentes superficies durante el maquinado, o para orientar la herramienta o cabezal de sujeción en algún ángulo en relación con la parte. Casi todos los sistemas CNC no requieren que funcionen los seis ejes. Los sistemas de control numérico más sencillos (por ejemplo, los graficadores, máquinas para procesar materia prima en prensa como láminas metálicas planas y máquinas de inserción de componentes) son sistemas de posicionamiento cuyas ubicaciones se definen en el plano x-y. En contraste, algunas máquinas herramientas tienen un control de 5 ejes para dar forma a geometrías de partes de trabajo complejas. Por lo común, estos sistemas incluyen tres ejes lineales y dos rotatorios (Groover, 1997).

En muchos sistemas de CNC, los movimientos relativos entre el elemento de procesamiento y la parte de trabajo se obtienen fijando la parte a una mesa y después controlando las posiciones y los movimientos de la mesa en relación con el cabezal de sujeción estacionario o semiestacionario. En otros sistemas, la parte de trabajo se mantiene estacionario y el cabezal de sujeción se mueve a lo largo de 2 o 3 ejes (Groover, 1997).



**Figura 2.15:** Sistemas de coordenadas que se usa en el control numérico

**Fuente:** (Groover, 1997).

#### 2.3.8.4. HUSILLOS A BOLAS PARA LA TRANSMISIÓN DE POTENCIA.

La transmisión de husillo de bolas es un conjunto que convierte el movimiento giratorio en movimiento lineal (o viceversa). Comprende un husillo de bolas y una tuerca de bolas empaquetados en un conjunto con rodamientos de bolas recirculantes. La interfaz entre el husillo de bolas y la tuerca de bolas se realiza mediante rodamientos de bolas que ruedan en hormas que concuerdan con las bolas. Con los elementos rodantes, la transmisión de husillo de bolas tiene un coeficiente de fricción sumamente bajo y tiene típicamente una eficiencia del 90%. Las fuerzas transmitidas se distribuyen entre un gran número de rodamientos de bolas, lo cual, comparativamente, produce una carga relativa baja por bola (Catalogo THK Global, Husillos a Bolas).



**Figura 2.16:** Esquema de los husillos a bolas.

**Fuente:** Catalogo THK Global, Husillos a Bolas.

Los husillos a recirculación de bolas son un medio eficaz de conversión en un movimiento lineal otro giratorio. Como indica su denominación, el sistema está compuesto por eje roscado (husillo), una tuerca también roscada y entre ambas piezas, un conjunto de bolas que ruedan sobre los flancos de la rosca del husillo y de la tuerca. Es un sistema de rodadura muy similar al que se produce en los rodamientos de contacto angular (Catalogo THK Global, Husillos a Bolas).

Los husillos a bolas, presentan grandes ventajas sobre los sistemas tradicionales (husillos con rosca trapezoidal) como son:

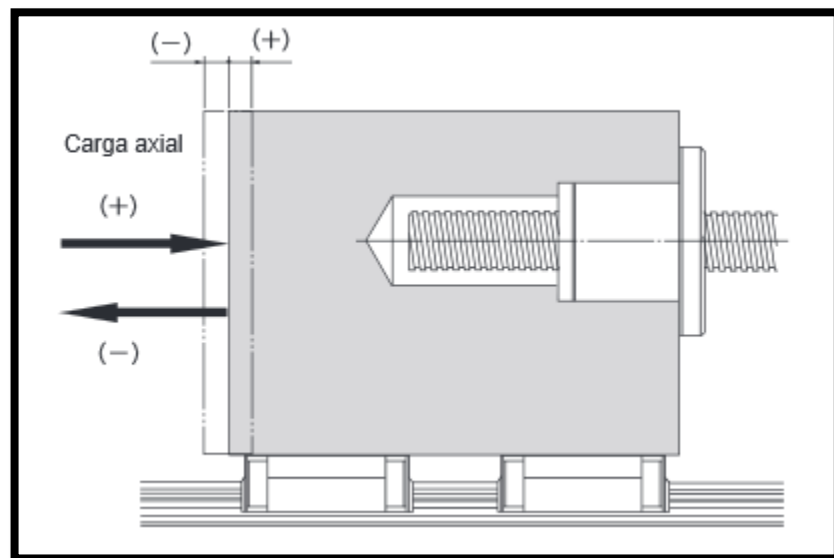
- Rendimiento muy elevado.
- Rigidez muy alta.
- Gran precisión de posicionamiento.
- Precisa de espacio reducido para su aplicación.
- Una importante reducción del par motriz necesario.
- Muy reducido desgaste (Catalogo THK Global, Husillos a Bolas).

El husillo a recirculación de bolas es un medio eficaz de lograr posicionamientos con tolerancia de situación muy reducida. Alcanzar un grado de repetibilidad con

estas precisiones se logra además de con una baja desviación de paso, el que el conjunto husillo-tuerca esté precargado (Catalogo THK Global, Husillos a Bolas).

El husillo de bolas requiere un par de torsión de arranque mínimo debido a su movimiento basculante, y no causa deslizamiento alguno, algo que es inevitable con un movimiento deslizante. Por lo tanto, es capaz de lograr una micro alimentación precisa (Catalogo THK Global, Husillos a Bolas).

Ya que el husillo de bolas es capaz de recibir una precarga, el juego axial puede reducirse por debajo de cero y se logra una alta rigidez debido a la precarga. Cuando se aplica una carga axial en la dirección positiva (+), la tabla se desplaza en la misma dirección (+). Cuando se coloca una carga axial en la dirección inversa (-), la tabla se desplaza en la misma dirección (-). Fig.6 muestra la relación entre la carga axial y el desplazamiento axial. A medida en que la dirección de la carga axial cambie, el juego axial ocurre en forma de desplazamiento. Además, cuando se aplica una precarga en el husillo de bolas, éste obtiene una mayor rigidez y un menor desplazamiento axial respecto de un juego igual a cero en la dirección axial (Catalogo THK Global, Husillos a Bolas).



**Figura 2.17:** Desplazamiento axial.

**Fuente:** Catalogo THK Global, Husillos a Bolas

### 2.3.8.5. RODAMIENTOS LINEALES.

La capacidad inherente de un sistema de rodamiento con bujes de bolas sirve para ajustar la desalineación torsional (causada por inexactitudes en la mecanización del carro o de la base o en la deflexión de la máquina) con poco aumento de la exigencia sobre los componentes de rodamiento. Los rodamientos lineales tienen la capacidad de carga elevada, el rodamiento de bolas tiene autoalineación, es liviano y ajustable, con un bajo coeficiente de fricción (THOMSOM, Linear Motion).

El rodamiento lineal se caracteriza especialmente por sus dimensiones reducidas y por tener poco juego radial. (THOMSOM, Linear Motion).

#### Características:

- Movimientos muy sensibles (coeficiente de fricción de 0.003).
- Ausencia de fricción en el arranque (efecto stik-slip).
- Desgaste mínimo.
- Capacidad de carga elevada.
- Máxima precisión.
- Se desplazan con un rozamiento y un ruido mínimos gracias a la compensación automática de la inclinación y a las pistas de rodadura de elementos rodantes rectificadas.
- Permiten guías lineales con recorridos ilimitados(THOMSOM, Linear Motion).



**Figura 2.18:** Rodamiento Lineal.

**Fuente:** Catalogo THOMSOM, Linear Motion.

## **2.4. HIPÓTESIS**

La aplicación de servomotores Mitsubishi (KE43KW1-S100) permitirá un correcto posicionamiento de los ejes de un robot cartesiano.

## **2.5. SEÑALAMIENTO DE VARIABLES.**

- **Variable Independiente:** Servomotores Mitsubishi (KE43KW1-S100).
- **Variable Dependiente:** Posicionamiento y movimientos programados de un Robot cartesiano.



## CAPÍTULO III

### 3. METODOLOGÍA.

#### 3.1. ENFOQUE.

Esta investigación tiene un enfoque cuantitativo porque, en base a parámetros necesarios se podrá realizar la construcción de un banco de pruebas de servomotores y se buscará la mejor alternativa de la selección de componentes para el correcto funcionamiento y su utilización en los procesos de aprendizaje de los estudiantes de la carrera de Ingeniería Mecánica.

#### 3.2. MODALIDAD BÁSICA DE LA INVESTIGACIÓN.

- **Bibliográfica – Documental:** La investigación se basará en esta modalidad debido a que la información que se necesita para profundizar el tema se obtendrá de libros, documentos relacionados con el tema y del internet.
- **Experimental:** Este método utilizaremos debido a que es necesaria la construcción de un banco de pruebas para realizar pruebas de funcionamiento de los servomotores.

#### 3.3. NIVEL O TIPO DE INVESTIGACIÓN.

- **Descriptiva:** En el cual se realizará una investigación sobre el diseño de un robot cartesiano con servomotores, así como el desarrollo de cada uno de los componentes y herramientas para poder aplicarlos en el desarrollo de este proyecto.
- **Explicativo:** Se realizará un análisis de los parámetros necesarios para este proyecto, detectando los comportamientos y explicando los factores precisos de ciertos procedimientos.

### **3.4. POBLACIÓN Y MUESTRA.**

La realización de la operacionalización de variables se deduce que no se necesita la aplicación tanto de encuestas como de entrevista, por lo que la población para este proyecto sería todos los componentes necesarios para la realización de un Robot Cartesiano con servomotores, debido a que es un proyecto netamente técnico el que se está desarrollando.

### **3.5. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES.**



**Variable Dependiente:** Posicionamiento y movimientos programados de un Robot cartesiano.

**Tabla 3.2:** Variable Dependiente

Lo Abstracto	Lo Operativo			
	Dimensiones	Indicadores	Ítems	Técnicas e Instrumentos
<p>Un robot cartesiano está configurado por tres movimientos lineales, es decir se desplaza sobre tres ejes, el X el Y y el Z, que son las coordenadas cartesianas, es por esto que también se los conoce como robots XYZ</p>	<p>Robot cartesiano</p> <p>Posición.</p> <p>Movimientos.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Drivers.</li> <li>• Software</li>   <li>• Ubicación</li>   <li>• Absolutos.</li> <li>• Relativos.</li> </ul>	<p>¿Qué parámetros se deben tomar en cuenta durante la programación?</p> <p>¿Qué Instrumentos necesita para la ubicación?</p> <p>¿Qué tipos de movimientos pueden darse en un robot cartesiano?</p>	<p>Catálogos.</p> <p>Bibliografía</p> <p>Catálogos.</p> <p>Bibliografía.</p> <p>Bibliografía.</p>

**Elaborado por:** Marco Pilamala Pilamala Bonilla Marco Paúl

### **3.6. RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN.**

De acuerdo al desarrollo de la operacionalización de variables se recolecta la información por medio de la siguiente técnica con sus respectivos instrumentos.

En la presente investigación se utilizan técnicas para la recolección de la información tales como la observación pues se requiere observar y analizar la información que sirve como guía en la investigación, recolección de información de libros, catálogos, internet, análisis y pruebas en el laboratorio, inspección visual externa e interna lógicamente con el empleo de diversos medios e instrumentos de medición, los cuales permitan recoger la información de forma correcta y eficiente.

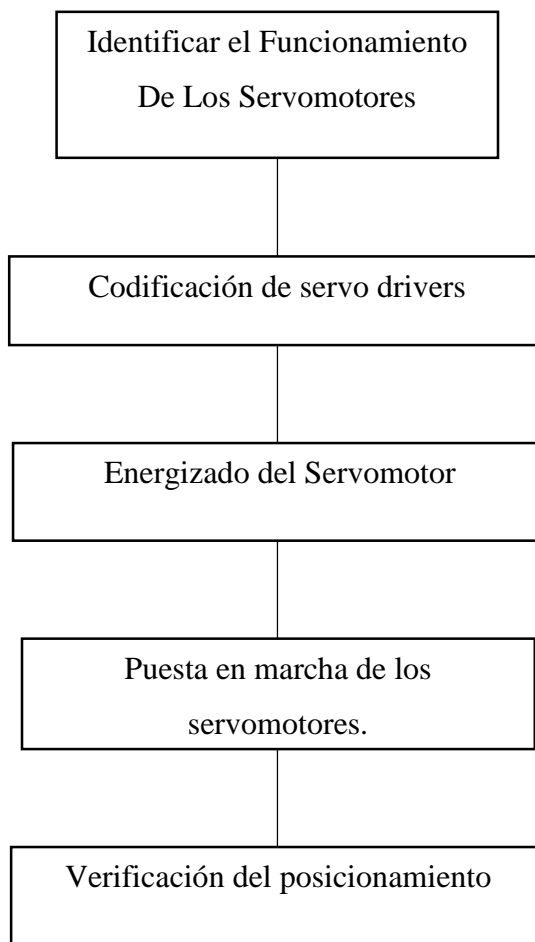
### **3.7. PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS.**

- Recopilación y análisis de la información bibliográfica recogida.
- Selección de la información más importante y puntual.
- Análisis e interpretación de resultados.
- Realización del proceso de funcionamiento de los servomotores en el robot cartesiano.
- Desarrollo de la propuesta.

## CAPÍTULO IV

### 4. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.

Con el propósito de verificar el correcto posicionamiento de los servomotores en un robot cartesiano de tres ejes (x, y, z), se realizó un análisis de la información documental bibliográfica sobre el funcionamiento del robot cartesiano y el funcionamiento de los servomotores Mitsubishi, los cuales nos ayudaran a obtener la mejor información para la recolección de datos de nuestro proyecto.



**Figura 4.1:** Organigrama.

#### **4.1. PARÁMETROS DE FUNCIONAMIENTO.**

El robot cartesiano debe cumplir con las necesidades y parámetros de diseño que se ajusten al movimiento de los tres ejes cartesianos (x, y, z) para la realización de las pruebas de posicionamiento requeridas.

#### **4.2. CONFIGURACIÓN DE LOS SERVODRIVERS.**

Para el control de los servomotores se puede realizar mediante el servo amplificador para lo cual se debe realizar la configuración del servo amplificador para que cumpla con los requerimientos necesarios para el movimiento de los servomotores.

##### **4.2.1. ELEMENTOS DE MANDO.**

Los elementos de mando para la configuración del servo driver son los siguientes:

**Tabla 4.1:** Elementos de mando del servo driver MR-E Súper

<b>Nº.</b>	<b>Característica</b>	<b>Descripción</b>
1	Panel de visualización	LED de 7 segmentos de 5 posiciones de visualización del estado servo y de los códigos de alarma.
2	Teclas de selección	Realiza operaciones sobre alarmas, parámetros, etc.

**Fuente:** Catálogo Mitsubishi Electric.

##### **4.2.2. CONFIGURACIÓN DEL SERVO DRIVER MR-E SÚPER.**

Las entradas para el control de trenes de pulso en el conector CN1 del servo driver que utilizamos son:

**Tabla 4.2:** Entradas de pulso del servo driver MR-E Súper.

# de Pin	Símbolo	Nombre de la señal
1	VIN	Entrada de alimentación de 24V.
2	OPC	Potencia de entrada de colector abierto.
4	SON	Servo-on.
8	EMG	Paro de emergencia.
13	SG	Digital I/O Común.
23	PP	Adelante / atrás tren de pulsos de rotación.
25	NP	Adelante / atrás tren de pulsos de rotación.

**Fuente:** Catálogo Mitsubishi Electric.

#### 4.2.2.1. AJUSTE DE PARÁMETROS DEL SERVO DRIVER MR-E SÚPER.

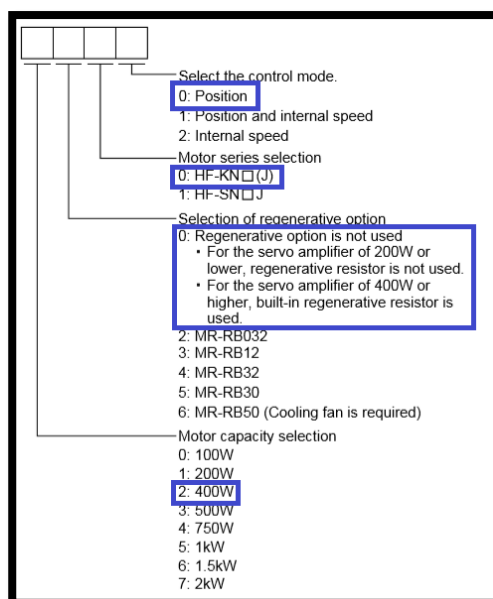
Parámetros Básicos de funcionamiento del servo driver MR-E Súper son los siguientes:

##### Parámetro N° 00.

Modo de control, selección opción regenerativa.

Se utiliza para seleccionar el modo de control y la opción de regeneración.

**Tabla 4.3:** Modo de control del servo driver MR-E Súper.



**Fuente:** Catálogo Mitsubishi Electric.



Escogemos estos valores según la serie del servomotor y la capacidad.

- Servomotor HF-KE43KW1 S100.
- Capacidad del motor 400 W.
- Modo de control de posición.

### Parámetro N° 19

Este es un parámetro contra escritura, se utiliza para seleccionar la referencia y escribir los rangos de los parámetros.

**Tabla 4.4:** Parámetro contra escritura.

Set value	Operation	Basic parameters No.0 to 19	Expansion parameters 1 No.20 to 49	Expansion parameters 2 No.50 to 84
0000 (Initial value)	Reference	<input type="radio"/>		
	Write	<input type="radio"/>		
000A	Reference	No.19 only		
	Write	No.19 only		
000B	Reference	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
	Write	<input type="radio"/>		
000C	Reference	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
	Write	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
000E	Reference	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
	Write	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
100B	Reference	<input type="radio"/>		
	Write	No.19 only		
100C	Reference	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
	Write	No.19 only		
100E	Reference	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
	Write	No.19 only		

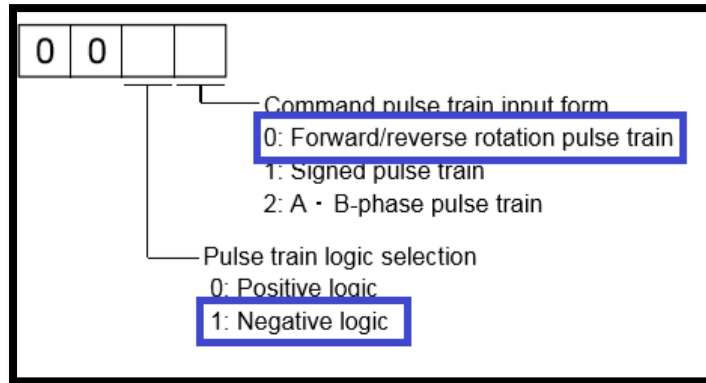
**Fuente:** Catálogo Mitsubishi Electric.

Con este parámetro nos permite modificar y reescribir los parámetros de expansión requeridos para el funcionamiento del servomotor.

### Parámetro N° 21

Selección pulso comando, se utiliza para seleccionar el formulario de la señal de entrada de tren de pulsos.

**Tabla 4.5:** Entradas de pulso del servo driver MR-E Súper.



**Fuente:** Catálogo Mitsubishi Electric.

Se escogió la entrada de pulsos en lógica negativa puesto que el PLC a utilizar también trabaja en lógica negativa.

La forma de onda de entrada se ha ajustado a la lógica negativa de avance y retroceso de los trenes de pulsos de rotación en el parámetro No.21 se ha establecido en 0010. Las formas de onda de esta sección son formas de onda de tensión de PP y NP basados en SG.

**Tabla 4.6:** Modo de control de posición del servo driver MR-E Súper.

	Pulse train form	Forward rotation command	Reverse rotation command	Parameter No.21 (Command pulse train)
Negative logic	Forward rotation pulse train Reverse rotation pulse train	PP	NP	0010
	Pulse train + sign	PP	NP	0011
	A-phase pulse train B-phase pulse train	PP	NP	0012
Positive logic	Forward rotation pulse train Reverse rotation pulse train	PP	NP	0000
	Pulse train + sign	PP	NP	0001
	A-phase pulse train B-phase pulse train	PP	NP	0002

**Fuente:** Catálogo Mitsubishi Electric.

### 4.2.3. CONFIGURACIÓN DEL SERVO DRIVER MR- J3-A.

En función de control de posicionamiento del servo driver MR J3 puede operarse solo ajustando los parámetros básicos (PA01, PA13, PA19).

### 4.2.3.1. DESCRIPCIÓN DE LOS PARÁMETROS BÁSICOS.

#### Parámetro PA01.

Con este parámetro nos permite configurar la acción que va a realizar el servo amplificador.

**Tabla 4.7:** Modo de control del servo driver MR-J3.

PA01	STY ①	0000 <sub>H</sub>	Ver descripción	PST
Ajuste del modo de control:				
<div style="border: 1px solid black; display: inline-block; padding: 2px;">0</div> <div style="border: 1px solid black; display: inline-block; padding: 2px;">0</div> <div style="border: 1px solid black; display: inline-block; padding: 2px;">0</div>				
Modo de control				
0: Control de posición				
1: Control de posición y de velocidad				
2: Control de velocidad				
3: Control de velocidad y de par de giro				
4: Control de par de giro				
5: Control de par de giro y de posición				

**Fuente:** Catálogo Mitsubishi Electric.

#### Parámetro PA13.

Con este parámetro seleccionamos el formato de tren de pulsos de entrada. Escogemos las entradas de trenes de pulsos en lógica negativa ya que nuestro PLC a utilizar funciona en lógica negativa, por esta razón ajustamos nuestro parámetro en la posición 0010H ya que cumple con lo requerido para realizar giros hacia adelante y hacia atrás.

**Tabla 8.8:** Modo de control del servo driver MR-J3.

Ajuste Parámetros PA13	Formato de tren de pulsos	Determinación Giro hacia adelante	Determinación Giro hacia atrás
0010 <sub>H</sub>	Tren de pulsos Giro hacia adelante	PP	NP
	Tren de pulsos Giro hacia atrás	NP	PP
0011 <sub>H</sub>	Tren de pulsos con signo	PP	NP
		NP	PP
0012 <sub>H</sub>	Tren de pulsos fase A	PP	NP
	Tren de pulsos fase B	NP	PP
0000 <sub>H</sub>	Tren de pulsos Giro hacia adelante	PP	NP
	Tren de pulsos Giro hacia atrás	NP	PP
0001 <sub>H</sub>	Tren de pulsos con signo	PP	NP
		NP	PP
0002 <sub>H</sub>	Tren de pulsos fase A	PP	NP
	Tren de pulsos fase B	NP	PP

**Fuente:** Catálogo Mitsubishi Electric.

### Parámetro PA19.

Con este parámetro quitamos la protección contra escritura. Al activar este parámetro nos permite tener acceso a los parámetros básicos para realizar los cambios necesarios para su activación.

Escogemos la primera opción ya que con este podemos reescribir los parámetros básicos requeridos para realizar el control de posicionamiento.

**Tabla 4.9:** Parámetro de protección contra escritura del driver MR-J3.

Valor de ajuste Parámetros PA19	Función	Parámetros básicos N° PA.	Parámetros de calibración N° PBI	Parámetros adicionales N° PC	Parámetros E/S N° PD
0000 <sub>H</sub>	Lectura	✓	—	—	—
	Escritura	✓	—	—	—
000B <sub>H</sub> (Valor inicial)	Lectura	✓	✓	✓	—
	Escritura	✓	✓	✓	—
000C <sub>H</sub>	Lectura	✓	✓	✓	✓
	Escritura	✓	✓	✓	✓
100B <sub>H</sub>	Lectura	✓	—	—	—
	Escritura	sólo PA19	—	—	—
100C <sub>H</sub>	Lectura	✓	✓	✓	✓
	Escritura	sólo PA19	—	—	—

**Fuente:** Catálogo Mitsubishi Electric.

#### 4.2.3.2. SEÑALES DE ENTRADA PARA EL CONTROL DE POSICIÓN DEL SERVO AMPLIFICADOR MR-J3.

Para el control de posición del servo amplificador MR-J3 utilizamos los siguientes pines de entradas de pulso.

**Tabla 10:** Símbolos de las señales del driver MR-J3.

<b>Nº de pin</b>	<b>Símbolo</b>	<b>Definición</b>
10	PP	Giro hacia delante/hacia atrás tren de pulsos.
12	OPC	Fuente de alimentación para el sistema “colector abierto”
15	SON	Servo on.
20	DICOM	Fuente de alimentación las señales digitales 24V.
21	DICOM	
35	NP	Giro hacia delante/hacia atrás tren de pulsos.
42	EMG	Parada de emergencia externa.
46	DOCOM	Común de las señales digitales I/O.
47	DOCOM	

**Fuente:** Catálogo Mitsubishi Electric.

### **4.3. PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DEL ROBOT CARTESIANO.**

Al finalizar con la comprobación de los ajustes básicos de potencia y después de haber ajustado los parámetros correspondientes a cada servo amplificador, efectuamos las pruebas de funcionamiento de cada eslabón del robot cartesiano sobre su propio rango de recorrido, de ser necesario realizamos la calibración de cada uno de los ejes del robot cartesiano.

Las pruebas de posicionamiento del robot cartesiano son netamente prácticas, con las cuales nos permite visualizar el correcto posicionamiento de los ejes.

#### **4.3.1. PRUEBAS DE CONTROL PARA EL EJE “Z”.**

Utilizamos la pantalla de control para realizar el movimiento del eslabón del eje “Z” sobre su rango de recorrido de arriba hacia abajo.

Para dar el recorrido del eslabón del eje “z” controlamos mediante la pantalla de control dando así el movimiento.



**Figura 4.1:** Pantalla de visualización para el eje z.

**Fuente:** Investigador (Marco Pilamala)

En esta prueba de control del eslabón del eje z se verifico que el movimiento vertical del carro en el eje z se desliza suavemente en los ejes guías con rodamientos lineales y husillos a bolas por lo que se obtuvo un movimiento suave y estable del eslabón del eje z.



**Figura 4.2:** Movimiento de arriba hacia abajo del eje Z.

**Fuente:** Investigador (Marco Pilamala)

Con el mando desde la pantalla de control para el eje z se pudo observar que el movimiento se transmitió de una manera rápida hacia el servomotor y seguidamente al husillo sin ningún tipo de interferencia.

#### 4.3.2. PRUEBAS DE CONTROL PARA EL EJE “Y”.

Para verificar el posicionamiento del eje y se realizó las pruebas necesarias de movimiento y posicionamiento y se verifico que se deslice suavemente sobre sus eje por medio de los rodamientos lineales que se encuentran ubicados en el carro y los cuales reducen la fricción que puede darse durante el movimiento.

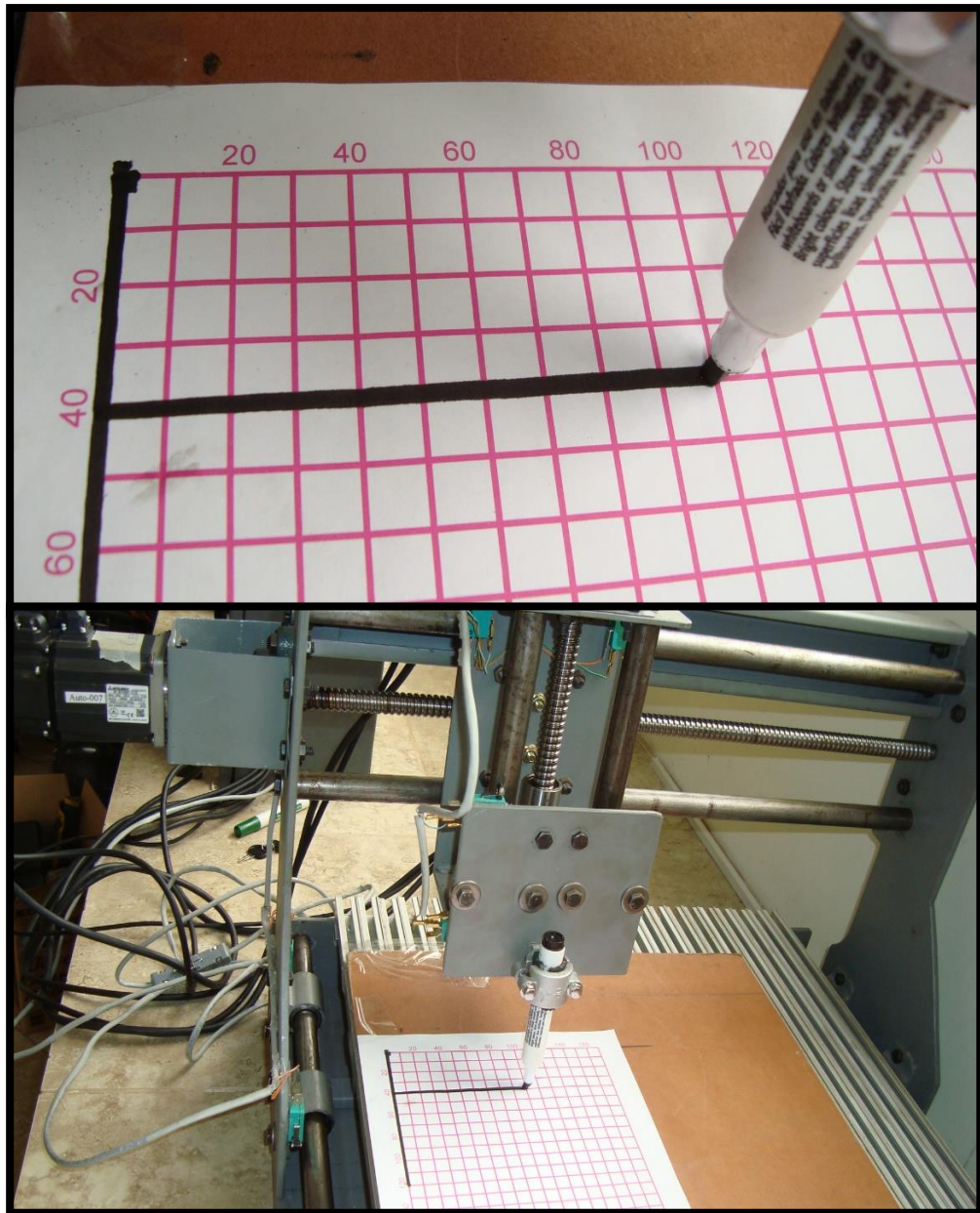
A continuación describimos los resultados de la puesta en marcha del robot cartesiano en el proceso de posicionamiento del eslabón del eje “y” con el servomotor. En la figura 4.4 se muestra el trazado en la cuadrícula de verificación realizado por el movimiento del husillo que se da por la programación de la distancia en la pantalla de control.

Para el posicionamiento del eje “y” damos las coordenadas en el panel de control en su rango de recorrido máximo de 450mm.



**Figura 4.3:** Panel de visualización del eje y.

**Fuente:** Investigador (Marco Pilamala)

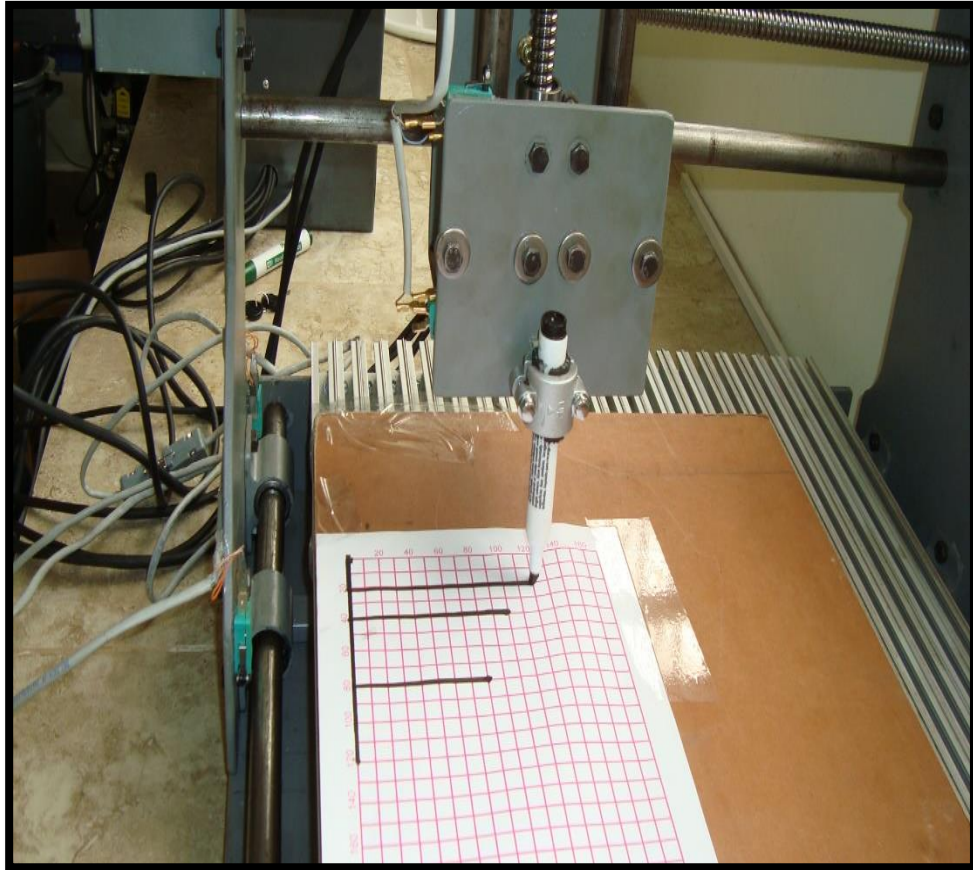


**Figura 4.4:** Trayectoria eje “Y”.

**Fuente:** Investigador (Marco Pilamala)

Para este caso observamos que el posicionamiento del eslabón en el eje “y” se detuvo en el punto exacto de mando ingresado en la pantalla de control y el movimiento es suave sin ningún tipo de interferencia puesto que no existe demasiada fricción en los sistemas de movimiento del eslabón.





**Figura 4.5:** Posición del eslabón “y” en varios puntos.

**Fuente:** Investigador (Marco Pilamala)

Para confirmar el posicionamiento del eslabón en el eje “y” se realizó varias pruebas de posicionamiento con valores de 80mm, 100mm y 120mm, por lo que pudimos observar la ubicación en los puntos dados son precisos en el plano del eje “y”.

#### **4.3.3. PRUEBAS DE CONTROL PARA EL EJE “X”.**

El control del movimiento para el posicionamiento del eje x se realiza de atrás hacia adelante a una velocidad moderada para poder observar de mejor manera la trayectoria de eje x en el robot cartesiano, el sistema mecánico que consta de 4 rodamientos lineales y dos ejes es óptimo para este tipo de robot cartesiano ya que no presenta ningún tipo de atasco en el sistema.

Realizamos las pruebas para el movimiento del eje “x”, en la figura 4.5 se visualiza el cuadro de control del eslabón en el eje “x” para su posterior transmisión de datos hacia los servomotores para la realización del movimiento del eslabón del eje “x”.

Ingresamos el valor de la distancia a recorrer por el eslabón del eje “x” en su rango de recorrido de 550mm.

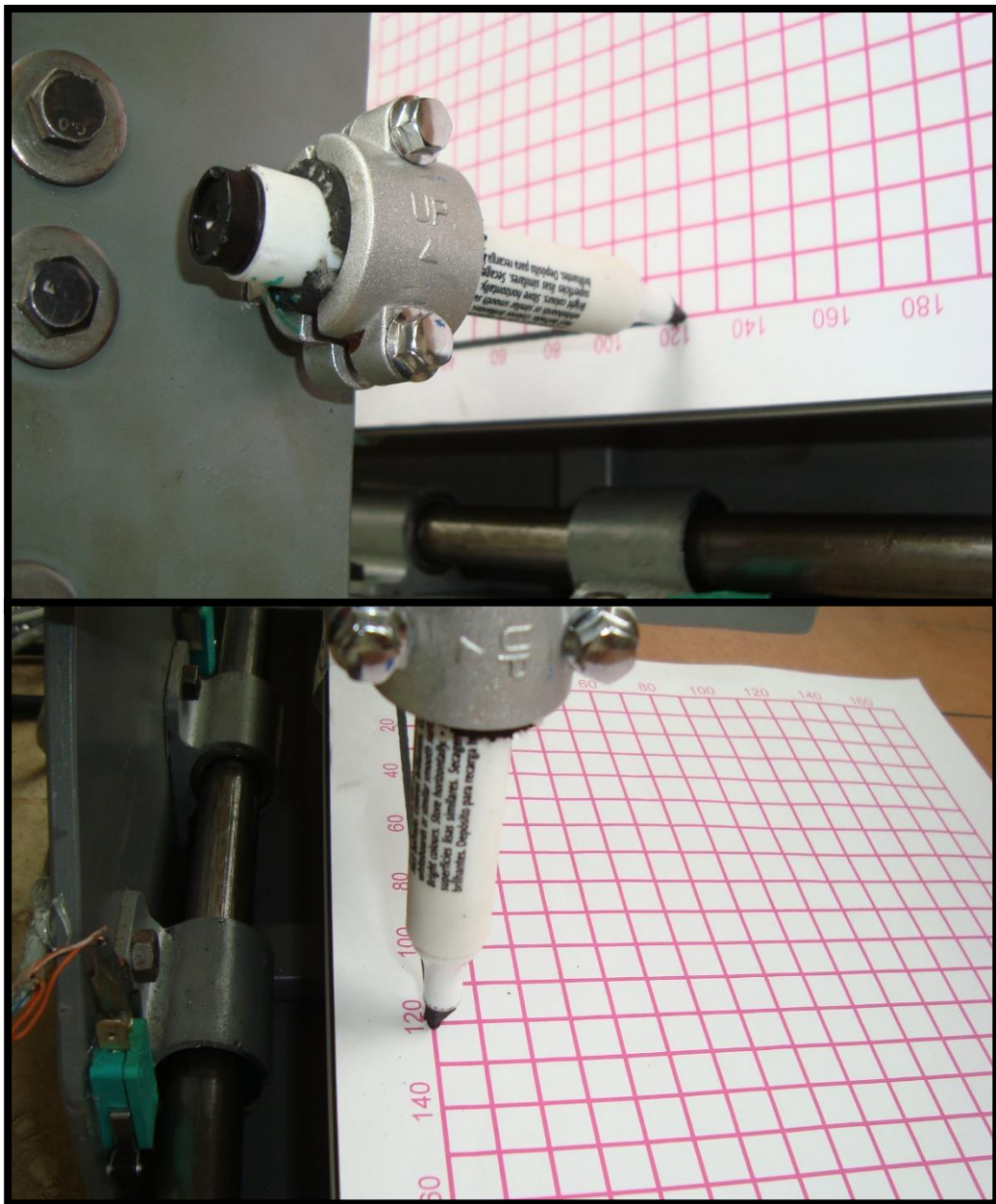


**Figura 4.6:** Pantalla de visualización para el eje “x”.

**Fuente:** Investigador (Marco Pilamala)

En la figura 4.7 se ilustra el desplazamiento del eslabón en el eje “x” de modo que podemos visualizar que se desplazó perfectamente sobre su rango de recorrido establecido en la pantalla de control.

La ubicación en el punto para el eslabón del eje “x” nos dio un posicionamiento preciso para este eje lo que podemos decir que los sistemas de movimiento del eslabón son los correctos al no existir vibraciones ni fricción en el sistema.



**Figura 4.7:** Trayectoria del eje “x”.

**Fuente:** Investigador (Marco Pilamala)

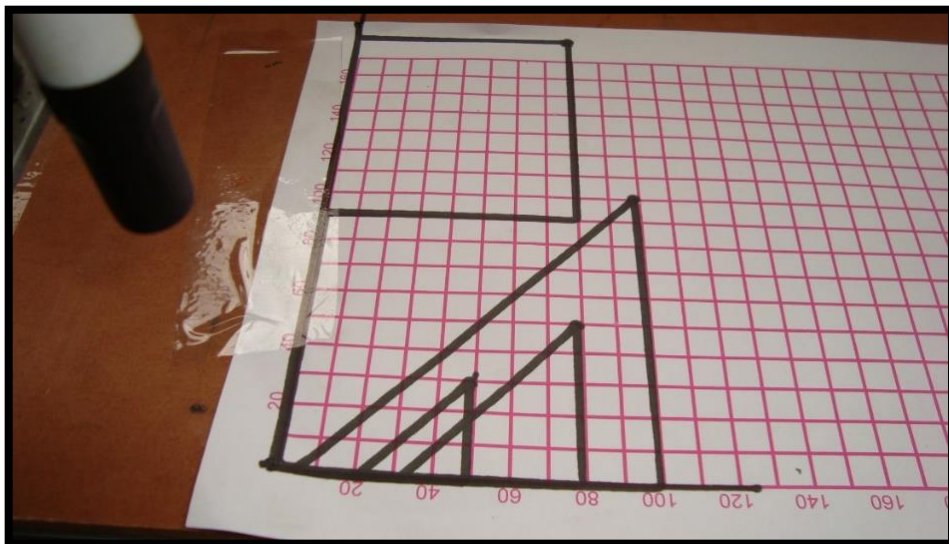
Como prueba final realizamos el posicionamiento del eslabón “x”, eslabón “y” simultáneamente para poder verificar el posicionamiento, en este punto se ingresa los valores para el movimiento para cada uno de los ejes en la pantalla de control, en la figura 4.7 se muestra los valores transmitidos hacia los servomotores y posteriormente a los eslabones de los ejes “X” y “Y”.



**Figura 4.8:** Visualización del datos para los ejes (x, y).

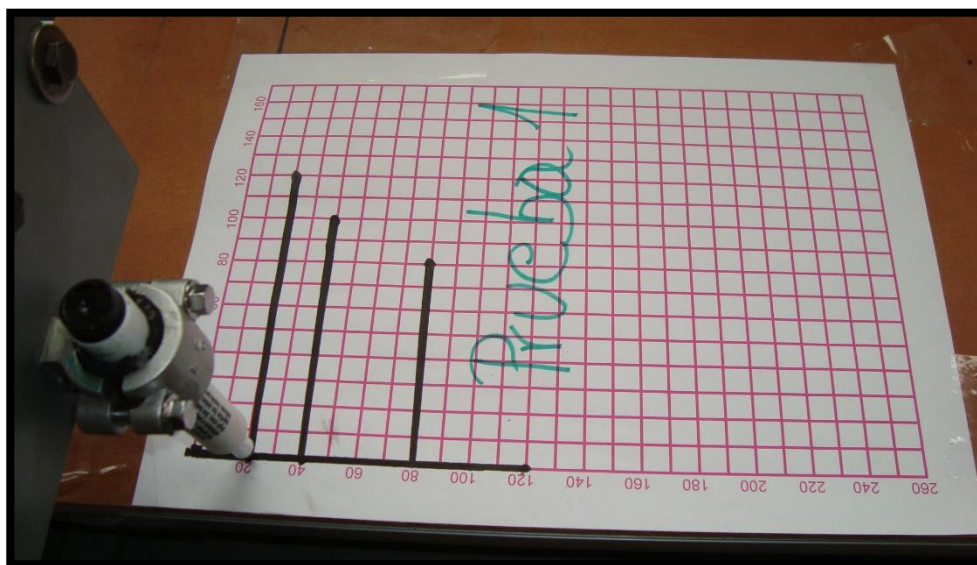
**Fuente:** Investigador (Marco Pilamala)

La figura 4.8 nos muestra el posicionamiento de los dos ejes (x, y) transmitidos hacia el robot cartesiano por medio de los servomotores para cada eslabón.



**Figura 4.9:** Trayectoria de los ejes (x, y).

**Fuente:** Investigador (Marco Pilamala)



**Figura 4.10:** Trayectorias del eje (x, y).

**Fuente:** Investigador (Marco Pilamala)

Al realizar varias pruebas de posicionamiento de los dos eje (x, y) del robot cartesiano pudimos observar que los eslabones se trasladaron a los puntos dados sin ningún inconveniente y que a su vez la trayectoria fue precisa al detenerse en los puntos dados.

#### **4.4. INTERPRETACIÓN DE DATOS.**

Para obtener los datos de un correcto posicionamiento de los ejes del robot cartesiano que sirva para la verificación de la hipótesis, se realizó varias pruebas de funcionamiento para cada uno de los ejes cartesianos del robot.

La información obtenida por la realización de las pruebas de funcionamiento del robot cartesiano nos sirvió notablemente para verificar el correcto posicionamiento de los ejes del robot cartesiano y a su vez verificar que los movimientos de los ejes no presentan ninguna obstrucción en el recorrido por lo que el sistema mecánico para el deslizamiento compuesto de los rodamientos lineales y los ejes son óptimos para el robot cartesiano sin presentar ningún tipo de atasco en el sistema.

#### 4.5. VERIFICACIÓN DE LA HIPÓTESIS.

Con las pruebas realizadas de posicionamiento de los ejes del robot cartesiano (x, y, z) se pudo verificar que los servo motores Mitsubishi de la serie HF-KE son adecuados para implementa en el robot cartesiano con los diferentes elementos prácticos, ya que estos nos permite un buen control de posición incluyendo unas respuestas muy rápidas a las señales de marcha.

Al implementar sistemas mecánicos de deslizamiento con rodamientos lineales se puede observar que no existen inconvenientes en los movimientos de los ejes, por lo que afecta directamente en el posicionamiento de existir algún tipo de atascamiento en el sistema, esto hace que los servomotores Mitsubishi no sufran con la fricción ya que puede provocar daños si existiera atascamiento en los servomotores durante el funcionamiento de los mismos.

De la misma manera la utilización de husillos a bolas para la transmisión de la potencia de los servomotores colocados en el robot cartesiano reduce la fricción del movimiento de los ejes, esto ayuda a un buen desempeño en los servomotores Mitsubishi por lo que nos da un buen resultado de posicionamiento de los ejes del robot cartesiano.

##### 4.5.1. T STUDENT PARA EL ROBOT CARTESIANO.

**Tabla 4.11:** Datos para T student.

<b>Prueba T Student</b>		
	<b>Elementos</b>	<b>Elementos</b>
Servomotores	2	2
Husillos a bolas	1	2
Rodamientos Lineales	1	2

**Fuente:** Investigador (Marco Pilamala)

2 = Utilizado

1 = No utilizado

**Tabla 4.22:** Datos obtenidos del T Student.

<b>Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales</b>		
	<b>Variable 1</b>	<b>Variable 2</b>
Media	1,3333	2
Varianza	0,3333	0
Observaciones	3,0000	3
Varianza agrupada	0,1667	
Diferencia hipotética de las medias	0,0000	
Grados de libertad	4,0000	
Estadístico t	-2,0000	
P(T<=t) una cola	0,0581	
Valor crítico de t (una cola)	2,1318	
P(T<=t) dos colas	0,1161	
Valor crítico de t (dos colas)	2,7764	

**Fuente:** Investigador (Marco Pilamala)

En la prueba T Para la igualdad de medias se obtuvo un  $t = -2.00$ ;  $p < 0.058$ , por lo tanto para la igualdad de medias se acepta la hipótesis, por lo que hay diferencia entre las medias de la variable 1 y la variable 2.

## **CAPÍTULO V**

### **5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.**

#### **5.1. CONCLUSIONES.**

- Se logró satisfactoriamente el objetivo principal planteado en este proyecto que fue el de verificar el correcto posicionamiento de los ejes en un robot cartesiano con los servomotores Mitsubishi.
- Para los servomotores Mitsubishi de la serie KE43KW1-S100 que se utilizaron en la realización de este proyecto, se logró identificar sus características eléctricas y parámetros de funcionamiento para el cumplimiento del correcto posicionamiento en el robot cartesiano ya que estos presentan facilidades de programación y control permitiendo que los movimientos del robot sean lo más preciso posible.
- Con la utilización de los husillos a bolas para cada eslabón redujo considerablemente la fricción durante la transmisión de potencia, aumentando así la eficiencia y el correcto posicionamiento de los eslabones en los ejes cartesianos (x, y, z) por medio de los servomotores Mitsubishi KE43KW1-S100.
- El sistema de guías de los ejes para cada eslabón con rodamientos lineales redujo la fricción durante el avance de los eslabones.



## **5.2. RECOMENDACIONES.**

- Verificar periódicamente los ajustes de los bocines de unión del husillo con los servomotores para evitar el deslizamiento de los bocines y causar una posición incorrecta de los eslabones en el robot cartesiano.
- Revisar las conexiones eléctricas antes de poner en marcha el robot cartesiano para evitar daños de los componentes del mismo.
- Revisar los fusibles y componentes periódicamente para mantener todas las seguridades en el sistema eléctrico.
- No manipular los servo drivers sin conocimiento de los mismos ya que podemos borrar los parámetros de funcionamiento de los servos.
- Realizar periódicamente la lubricación necesaria de los componentes del sistema de transmisión y guías del robot cartesiano.

## **CAPÍTULO VI**

### **6. PROPUESTA.**

#### **6.1. DATOS INFORMATIVOS.**

##### **6.1.1. TÍTULO.**

Diseñar un robot cartesiano de tres ejes (x, y, z) para realizar posicionamiento con servomotores Mitsubishi KE43KW1-S100.

##### **6.1.2. INSTITUCIÓN EJECUTORA.**

Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

##### **6.1.3. BENEFICIARIOS.**

Laboratorio de control de la Carrera de Ingeniería Mecánica.

Estudiantes de la carrera de Ingeniería Mecánica.

##### **6.1.4. UBICACIÓN.**

Provincia de Tungurahua, Canto Ambato.

##### **6.1.5. EQUIPO TÉCNICO RESPONSABLE.**

Marco Paúl Pilamala Bonilla, egresado de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, carrera de Ingeniería Mecánica.

##### **6.1.6. COSTO.**

El diseño y construcción del robot cartesiano tiene un costo de 3000.00 dólares.

## **6.2. ANTECEDENTES DE LA PROPUESTA.**

La tecnología a nivel mundial avanza a pasos agigantados, por lo que con el desarrollo de la electricidad y la electrónica permitió la aparición de autómatas programables capaces de imitar algunas funciones intelectuales realizadas por el hombre lo que pueden reproducir determinados comportamientos.

Con la evolución tecnológica que se viene realizando en los últimos años, tanto en la construcción de los servomotores, al aparecer en el mercado los de corriente alterna, como en los propios controladores, ha permitido a éstos introducirse en campos que hasta hace poco, estaban reservados a ser resueltos mediante la utilización de robots.

## **6.3. JUSTIFICACIÓN.**

Los Robots tipo cartesiano, están dejando paso en la industria a aplicaciones realizadas con servo accionamientos. El ahorro económico (muy importante) no es el único elemento influyente en la decisión de estas sustituciones. Las grandes posibilidades que ofrecen de alto rendimiento, facilidad de control, fiabilidad en aplicaciones donde se requiera control de: par, velocidad y posición.

El desarrollo de este proyecto se da por la necesidad del aprendizaje de posicionamiento de un robot cartesiano con servomotores ya que hoy en día todo proceso industrial se está encaminando a ser automatizado para la realización de tareas que son difíciles y agotadoras para el ser humano, la automatización con servomotores está creciendo en todo el mundo, ya que nuestro país no debe ser la excepción para lo cual con este proyecto nos permite implementar un sistema automatizado con servomotores para fortalecer el aprendizaje de posicionamiento en un robot cartesiano en el Laboratorio de Control de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

## **6.4. OBJETIVOS.**

### **6.4.1. OBJETIVO GENERAL.**

- Diseñar y construir un robot cartesiano de tres ejes (x, y, z) para realizar posicionamiento con servomotores Mitsubishi.

### **6.4.2. OBJETIVO ESPECÍFICO.**

- Realizar el tablero de control y eléctrico para la puesta en marcha de los servomotores.
- Diseñar un sistema mecánico adecuado que nos permita realizar un libre desplazamiento de los ejes (x, y, z) del robot cartesiano.
- Realizar un programa para el PLC que nos permita realizar la comunicación de los servos amplificadores y el control de los servomotores.

## **6.5. ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD.**

El diseño y construcción del prototipo de un robot cartesiano dependerá de ciertos parámetros y requerimientos que se debe tener en cuenta para el modelo que nos sea lo más útil posible en el Laboratorio de Control de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica. Los parámetros que se deben tener en cuenta para el diseño son los siguientes:

- Dimensiones.
- Fácil manejo.
- Lo más exacto posible.
- Excelente movilidad de los ejes.
- Económico.

EL diseño y construcción de todos sus elementos que conforman el robot cartesiano deben ser lo más exacto posible ya que estos afectan directamente en la movilidad de sus ejes, el prototipo deberá poder ser operado por cualquier persona con un

mínimo de capacitación por lo que tiene que ser fácil de operar y que nos permita realizar movimientos sin ninguna dificultad.

## **6.6. FUNDAMENTACIÓN.**

El sistema de movimiento de tres ejes de nuestro proyecto está basado en el sistema tipo mesa fija, de manera que el diseño de cada eje se realizará de forma independiente.

El tipo de robot cartesiano a diseñar para este proyecto consta de un sistema de movimiento de tres ejes y consta de las siguientes partes:

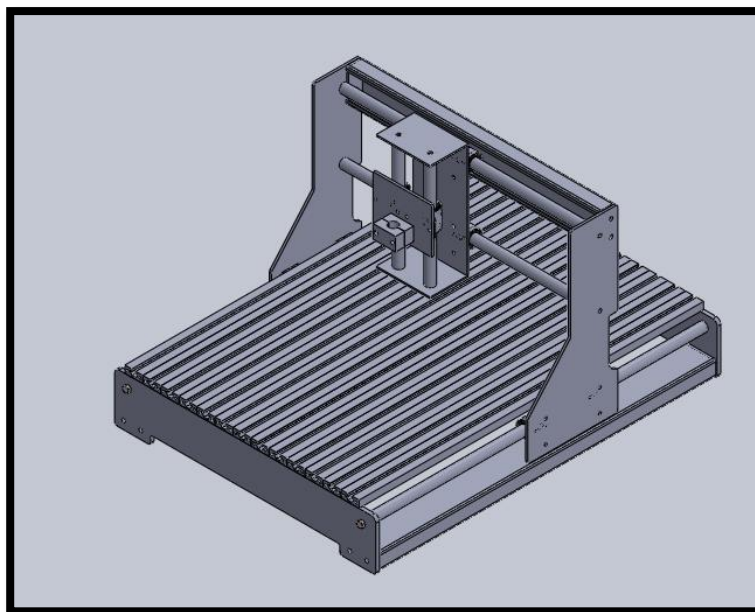
- Mesa de trabajo o bancada.
- Soportes longitudinales.
- Husillo de movimiento.
- Eslabones o carros de soporte.

El sistema está conformado por ejes de soporte de los carros o puentes que sirven como guía para cada uno de los ejes conformados en el robot cartesiano. Un mecanismo de movimiento el cual se fija para dar la movilidad a los sistemas en (x, y, z). El movimiento del sistema lo transmiten tres servomotores Mitsubishi colocados para cada uno de los ejes cartesianos que hacen girar al husillo, este sistema permite mover las cargas con precisión y sin grandes efectos de vibración.

### **6.6.1. DISEÑO DEL ROBOT CARTESIANO.**

A continuación se detalla el diseño de cada una de las partes que componen al robot cartesiano. Al igual que todo robot industrial cartesiano, posee una herramienta de trabajo que se moviliza sobre ejes.

Aunque existen diversos tipos de robots cartesianos que incorporan ciertas particularidades se ha decidido partir de un prototipo muy sencillo y básico donde se pueda aplicar las funciones y movimientos básicos en los tres ejes (x, y, z).



**Figura 6.1:** Esquema del robot Cartesiano (X, Y, Z)

**Fuente:** Investigador (Marco Pilamala)

El área para ubicar el equipo, así como para desarrollar las prácticas es de 755mm x 565mm dicho espacio da la oportunidad, de observar el funcionamiento del equipo en su totalidad, además de proporcionar un espacio de trabajo suficientemente versátil.

El espacio de trabajo para este proyecto se asume un recorrido aproximado de:

Recorrido eje X es de 755mm.

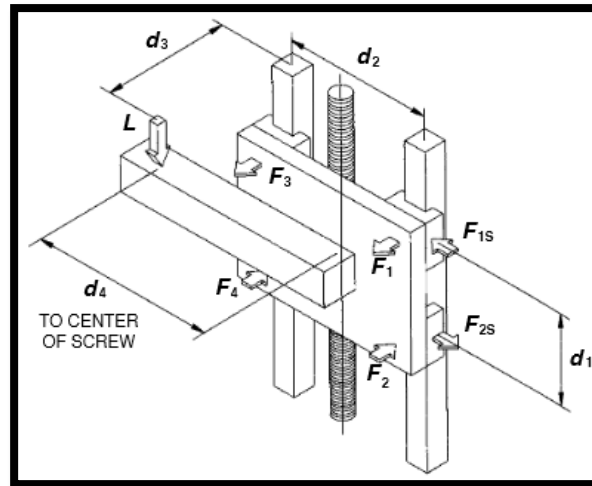
Recorrido eje Y es de 565mm.

Recorrido eje Z es de 220mm.

Con estas medidas iniciamos el diseño del robot cartesiano.

#### **6.6.2. DISEÑO DEL EJE PARA LA COORDENADA Z.**

El eje Z estará conformado por dos ejes paralelos fijos, cada uno de 220 milímetros de largo.



**Figura 6.2:** Diagrama de fuerzas en el eje Z.

**Fuente:** Techno ing. Linear Motion Catalog.

Donde las ecuaciones para calcular las fuerzas ejercidas en los ejes son las siguientes según Techno ing. Linear Motion Catalog Anexo 1:

$$F_{1z} = F_{3z} = \frac{P}{2} \left( \frac{d_3}{d_1} \right) \quad \text{Ecuación 6.1}$$

$$F_{2z} = F_{4z} = -\frac{P}{2} \left( \frac{d_3}{d_1} \right) \quad \text{Ecuación 6.2}$$

$$F_{1sz} = F_{3sz} = \frac{P}{2} \left( \frac{d_4}{d_2} \right) \quad \text{Ecuación 6.3}$$

$$F_{2sz} = F_{4sz} = -\frac{P}{2} \left( \frac{d_4}{d_2} \right) \quad \text{Ecuación 6.4}$$

Donde:

$F_{1z} = F_{2z} = F_{3z} = F_{4z}$  = Carga radial ejercida en el sistema.

$F_{1sz} = F_{2sz} = F_{3sz} = F_{4sz}$  = Carga lateral ejercida en el sistema.

Para obtener estas cargas realizamos las siguientes operaciones:

$$P = m_1 * g + m * g \quad \text{Ecuación 6.5}$$

Donde:

$m$  = Peso de trabajo considerado para el diseño de (15 Kg).

$m_1$  = Peso de la estructura del eje z considerado (2.268 Kg).

$g$  = gravedad (9.8 m/s<sup>2</sup>).

$P$  = Fuerza ejercida por la carga dada por el peso de la estructura.

Reemplazando en la ecuación 4.5 tenemos:

$$P = 2.268 \text{ Kg} * 9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} + 15 \text{ Kg} * 9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$P = 169.2264 \text{ N}$$

Distancias de los apoyos para el movimiento vertical de la coordenada z, son ubicadas a esas distancias ya que el carro del eje z tiene un ancho de 135 mm y colocamos los apoyos a las siguientes distancias que necesitamos para el cálculo según la figura 6.2:

$$d_1 = 10\text{mm}$$

$$d_2 = 70\text{mm}$$

$$d_3 = 50\text{mm}$$

$d_4 = 0$  porque la carga se encuentra en el centro del carro de movimiento.

Remplazamos en las ecuaciones 6.1, 6.2, 6.3, 6.4 obteniendo las fuerzas ejercidas en el eje de la coordenada z.

$$F_{1z} = F_{3z} = \frac{169.226 \text{ N}}{2} \left(\frac{5}{1}\right) = 423.066 \text{ N}$$

$$F_{2z} = F_{4z} = \frac{169.226 \text{ N}}{2} \left(\frac{5}{1}\right) = 423.066 \text{ N}$$

$$F_{1sz} = F_{3sz} = 0$$

$$F_{2sz} = F_{4sz} = 0$$

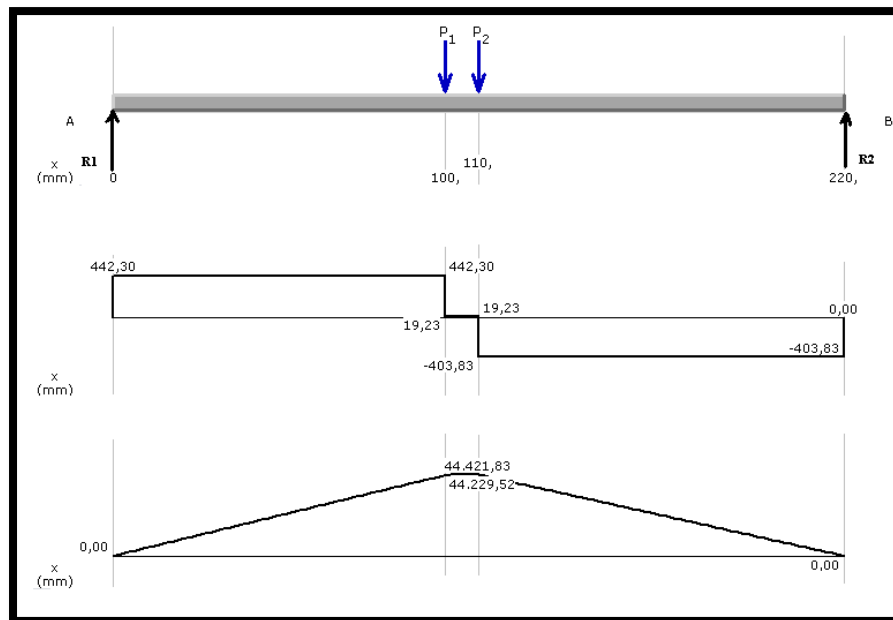


$F_{1sz}$ ,  $F_{1sz}$ ,  $F_{1sz}$ ,  $F_{1sz}$ , Son cero porque la carga se encuentra ubicada en el centro del elemento.

### 6.6.3. CÁLCULO DE LOS EJES GUÍAS EN “Z”.

Tomando en cuenta que la estructura tiene dos ejes guías de iguales características, se considera que las fuerzas mayores son  $F_3$  y  $F_4$  para realizar el análisis de esfuerzos. Entonces se escogerá para el diseño de los ejes guías, el momento flector máximo de la estructura.

El largo del eje para este caso será de 220 mm.



**Figura 6.3:** Diagrama de fuerza cortante y momento flector coordenada Z.

**Fuente:** Investigador (Marco Pilamala)

$$\sum Fy = 0$$

$$R_2 + R_1 - 423.066 \text{ N} - 423.066 \text{ N} = 0$$

$$R_2 + R_1 = 846.132 \text{ N}$$

$$R_1 = 846.132 N - R_2$$

$$R_1 = 442.302 N$$

$$\sum M_A = 0$$

$$-(F_{1z} * 100) - (F_{2z} * 110) + (R_1 * 220) = 0$$

$$-(423.066 * 100) - (423.066 * 110) + (R_1 * 220) = 0$$

$$R_2 = \frac{88843.86}{220}$$

$$R_2 = 403.83 N$$

$$A_1 = R_1 * D_1 = 442.302 N * 100mm = 44230.2N.mm$$

$$A_2 = (R_1 - F_1) * D_2 = 16.376 N * 10 mm = 192.3 N.mm$$

$$A_3 = R_2 * D_3 = 403.83 N * 110mm = 44421.93 N.mm$$

Donde:

$A_1 = A_2 = A_3 =$  Momentos.

Diámetro del eje z:

Para este proyecto utilizamos el acero 1018 Anexo 2:

$$S_y = 220 MPa$$

Factor de seguridad de 2.5

Remplazamos en la fórmula del esfuerzo a flexión según Shigley:

$$\sigma_{max} = \frac{S_y}{n} = \frac{220 MPa}{2.5} = 88MPa \quad \text{Ecuación 6.6}$$

Calculamos el módulo de resistencia del material:

$$S = \frac{M}{\sigma_{max}} \quad \text{Ecuación 6.7}$$

$$S = \frac{44421.93 \text{ N} \cdot \text{mm}}{88 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}$$

$$S = 504.79 \text{ mm}^3$$

Reemplazamos en la siguiente fórmula para obtener el diámetro de eje:

$$d_z = \sqrt[3]{\frac{32 * S}{\pi}} \quad \text{Ecuación 6.8}$$

$$d_z = \sqrt[3]{\frac{32 * 504.79 \text{ mm}^3}{\pi}}$$

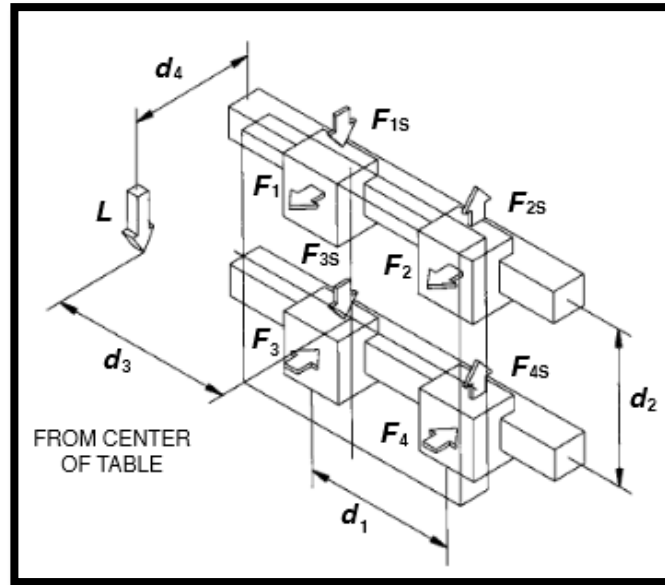
$$d_z = 17.25 \text{ mm}$$

El diámetro del eje guía z es de 17.25mm puesto que para la verificación del posicionamiento de este eje con el servomotor debe ser lo más exacto posible se ha optado por conseguir rodamientos lineales ya que estos nos ayudan con la fricción del sistema que sea casi nula para obtener un buen resultado, ya que en el mercado existe rodamientos de 20mm y nuestro cálculo del eje se acerca al diámetro del rodamiento escogemos un eje de 20mm para la guía del eje z.

#### **6.6.4. DISEÑO DEL EJE DE LA COORDENADA Y.**

El eje Y estará conformado por dos ejes paralelos fijos al tablero, sobre ellos se desplazarán piezas mediante bocines, los dos ejes estas sujetos en cada uno de sus extremos.

Cuando una carga lateral se aplica al sistema de movimiento en el eje Y, las cargas en las guías cambian en forma individual, requiriendo de nuevas ecuaciones para el cálculo de los esfuerzos, cada guía tendrá como resultante una carga normal así como una carga lateral.



**Figura 6.4:** Diagrama de fuerzas en el eje Y.

**Fuente:** Techno ing. Linear Motion Catalog

Donde las ecuaciones para calcular las fuerzas ejercidas en los ejes son las siguientes según Techno ing. Linear Motion Catalog Anexo 1:

$$F_{1y} = F_{2y} = \frac{P}{2} \left( \frac{d_4}{d_2} \right) \quad \text{Ecuación 6.9}$$

$$F_{3y} = F_{4y} = -\frac{P}{2} \left( \frac{d_4}{d_2} \right) \quad \text{Ecuación 6.10}$$

$$F_{1sy} = F_{3sy} = \frac{P}{4} + \frac{P}{2} \left( \frac{d_3}{d_1} \right) \quad \text{Ecuación 6.11}$$

$$F_{2sy} = F_{4sy} = \frac{P}{4} - \frac{P}{2} \left( \frac{d_3}{d_1} \right) \quad \text{Ecuación 6.12}$$

Donde:

$F_{1y} = F_{2y} = F_{3y} = F_{4y}$  = Carga radial ejercida en el sistema.

$F_{1sy} = F_{2sy} = F_{3sy} = F_{4sy}$  = Carga lateral ejercida en el sistema.

Donde:

$P$  = Fuerza ejercida por la carga, dado por el peso del carro vertical.

$$P = m + m_1 + m_2 + m_3 \quad \text{Ecuación 6.13}$$

$m_1$  = Peso del servomotor z pesado (2.1 Kg)

$m_2$  = Peso de la estructura en z asumido (2.268 Kg)

$m_3$  = Peso de la estructura y asumido (9.9792 Kg)

$$P = m_1 * g + m_2 * g + m * g$$

$$P = \left(2.1Kg * 9.8 \frac{m}{s^2}\right) + \left(2.268Kg * 9.8 \frac{m}{s^2}\right) + \left(9.9792Kg * 9.8 \frac{m}{s^2}\right) + \left(15 * 9.8 \frac{m}{s^2}\right)$$

$$P = 287.59 N$$

La ubicación de los apoyos de rodadura para el sistema del eje y se encuentran dispuestos de tal manera que el movimiento sea lo más libre posible del carro y, para el cálculo del eje y necesitamos las siguientes distancias:

$$d1 = 60 \text{ mm}$$

$$d2 = 125 \text{ mm}$$

$d3 = 0$  Porque la carga está localizado en el centro del carro.

$$d4 = 140 \text{ mm}$$

Reemplazamos en las ecuaciones 6.9, 6.10, 6.11, 6.12 para obtener las fuerzas que actúan en el sistema:

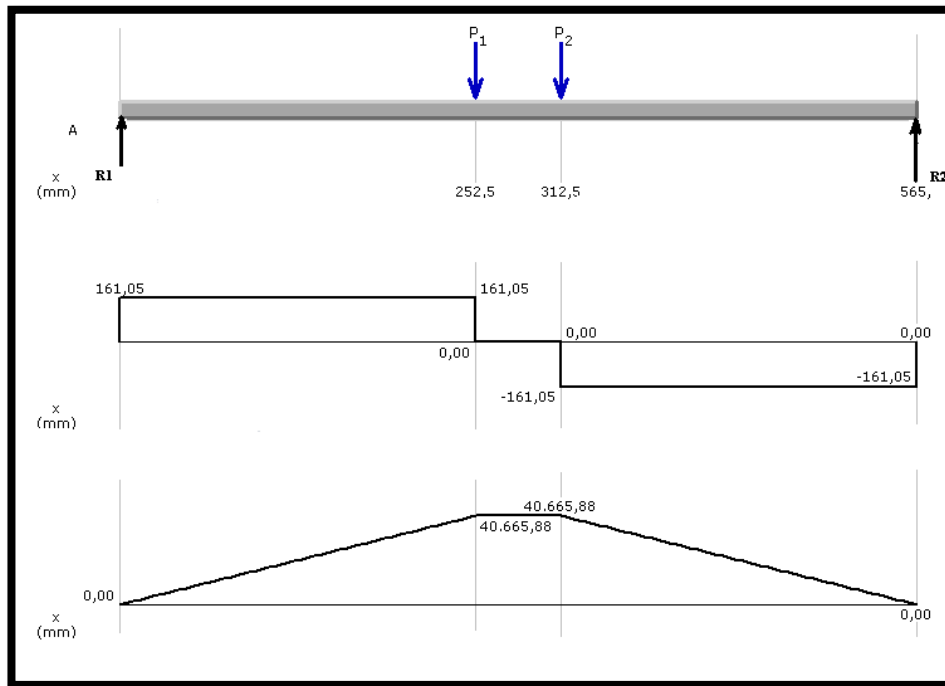
$$F_{1y} = F_{2y} = \frac{287.59 N}{2} \left(\frac{140mm}{145mm}\right) = 161.053 N$$

$$F_{3y} = F_{4y} = -\frac{287.59 N}{2} \left(\frac{140mm}{145mm}\right) = -161.053 N$$

$$F_{1sy} = F_{2sy} = \frac{287.59 N}{4} + \frac{287.59 N}{2} \left(\frac{0}{60mm}\right) = 143.79 N$$

$$F_{1sy} = F_{2sy} = \frac{287.59 \text{ N}}{4} - \frac{287.59 \text{ N}}{2} \left( \frac{0}{60\text{mm}} \right) = 143.79 \text{ N}$$

### 6.6.5. CÁLCULO DE LOS EJES GUÍA DE LA COORDENADA Y.



**Figura 6.5:** Diagrama de fuerza cortante y momento flector coordenada Y.

**Fuente:** Investigador (Marco Pilamala)

$$\sum Fy = 0$$

$$R_1 + R_2 - 161.053 - 161.053 = 0$$

$$R_1 = 322.106 - R_2$$

$$R_1 = 161.053 \text{ N}$$

$$\sum M_A = 0$$

$$-(F_{3y} * 252.5) - (F_{4y} * 312.5) + R_2 * 565 = 0$$

$$-(161.053 * 252.5) - (161.053 * 312.5) + R_2 * 565 = 0$$

$$R_2 = 161.053 \text{ N}$$

Cálculo del momento máximo:

$$A_1 = 161.053 \text{ N} * 252.4 \text{ mm} = 40665.88 \text{ Nmm}$$

$$A_2 = 161.053 \text{ N} * 252.5 \text{ mm} = 40665.88 \text{ Nmm}$$

Donde:

$A_1 = A_2 =$  Momentos en los ejes de la coordenada y.

Cálculo del diámetro del eje:

Acero 1018 Anexo 2:

$$S_y = 220 \text{ MPa}$$

Factor de seguridad de 2.5

Remplazamos en la ecuación 6.6 y obtenemos el esfuerzo máximo:

$$\sigma_{max} = \frac{S_y}{n}$$
$$\sigma_{max} = \frac{220 \text{ MPa}}{2.5} = 88 \text{ MPa}$$

Calculamos el módulo de resistencia del material con la ecuación 6.7:

$$S = \frac{M}{\sigma_{max}}$$
$$S = \frac{40665.88 \text{ N} \cdot \text{mm}}{88 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}$$
$$S = 462.11 \text{ mm}^3$$

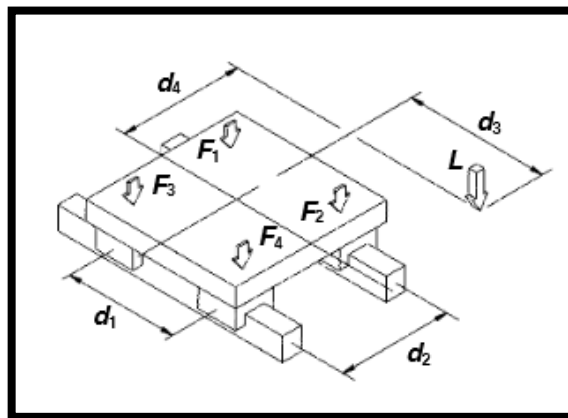
Reemplazamos en la ecuación 6.8 para obtener el diámetro de eje:

$$d_y = \sqrt[3]{\frac{32 * S}{\pi}}$$
$$d_y = \sqrt[3]{\frac{32 * 121.31 \text{ mm}^3}{\pi}}$$
$$d_y = 16.75 \text{ mm}$$

El diámetro del eje guía y es de 16.75mm puesto que para la verificación del posicionamiento de este eje con el servomotor debe ser lo más exacto posible se ha optado por conseguir rodamientos lineales ya que estos nos ayudan con la fricción del sistema que sea casi nula para obtener un buen resultado, ya que en el mercado existe rodamientos de 20mm y nuestro cálculo del eje se acerca al diámetro del rodamiento escogemos un eje de 20mm para la guía del eje y.

### 6.6.6. DISEÑO DEL EJE DE LA COORDENADA X.

Cuando una carga normal se aplica a un sistema horizontal de guías, las cargas en cada una de estas son encontradas usando las ecuaciones siguientes. Estas ecuaciones también se aplican aun cuando la carga está actuando dentro del carruaje o plataforma, es importante considerar la orientación de la carga aplicada con respecto al sistema de guías.



**Figura 6.6:** Diagrama de fuerzas en el eje X.

**Fuente:** Techno ing. Linear Motion Catalog

Donde las ecuaciones para calcular las fuerzas ejercidas en los ejes son las siguientes según Techno ing. Linear Motion Catalog Anexo 1:

$$F_{1x} = \frac{P}{4} - \frac{P}{2} \left( \frac{d_3}{d_1} + \frac{d_4}{d_2} \right) \quad \text{Ecuación 6.14}$$

$$F_{2x} = \frac{P}{4} + \frac{P}{2} \left( \frac{d_3}{d_1} - \frac{d_4}{d_2} \right) \quad \text{Ecuación 6.15}$$



$$F_{3x} = \frac{P}{4} - \frac{P}{2} \left( \frac{d_3}{d_1} - \frac{d_4}{d_2} \right) \quad \text{Ecuación 6.16}$$

$$F_{4x} = \frac{P}{4} + \frac{P}{2} \left( \frac{d_3}{d_1} + \frac{d_4}{d_2} \right) \quad \text{Ecuación 6.17}$$

Donde:

$F_{1x} = F_{2x} = F_{3x} = F_{4x} =$  Carga radial ejercida en el sistema.

Cálculo de la carga en el sistema:

$$P = m_1 * g + m_2 * g + m_3 * g + m * g \quad \text{Ecuación 6.18}$$

Donde:

$P =$  Fuerza ejercida por la carga, dada por el peso de la estructura horizontal.

$m_1 =$  Peso del servomotor en z (2.1 Kg)

$m_2 =$  Peso de la estructura asumida para la coordenada z (2.268 Kg)

$m_3 =$  Peso de la estructura asumida para coordenada y (9.9792Kg)

$m_4 =$  Peso de la estructura asumida para coordenada x (14.51 Kg)

$$P = \left( 2.1Kg * 9.8 \frac{m}{s^2} \right) + \left( 2.268Kg * 9.8 \frac{m}{s^2} \right) + \left( 9.9792Kg * 9.8 \frac{m}{s^2} \right) + \left( 15Kg * 9.8 \frac{m}{s^2} \right)$$

$$P = 308.18 N$$

Los apoyos para el eje x están dispuestos de tal manera que el sistema tenga libre movilidad de todo el sistema por lo que las distancias necesarias para el cálculo son las siguientes:

$d_1 = 120 \text{ mm}$

$d_2 = 520 \text{ mm}$

$d_3 = 100 \text{ mm}$

$d_4 = 350 \text{ mm}$

Reemplazamos en las ecuaciones 6.14, 6.15, 6.16, 6.17 para obtener las fuerzas:

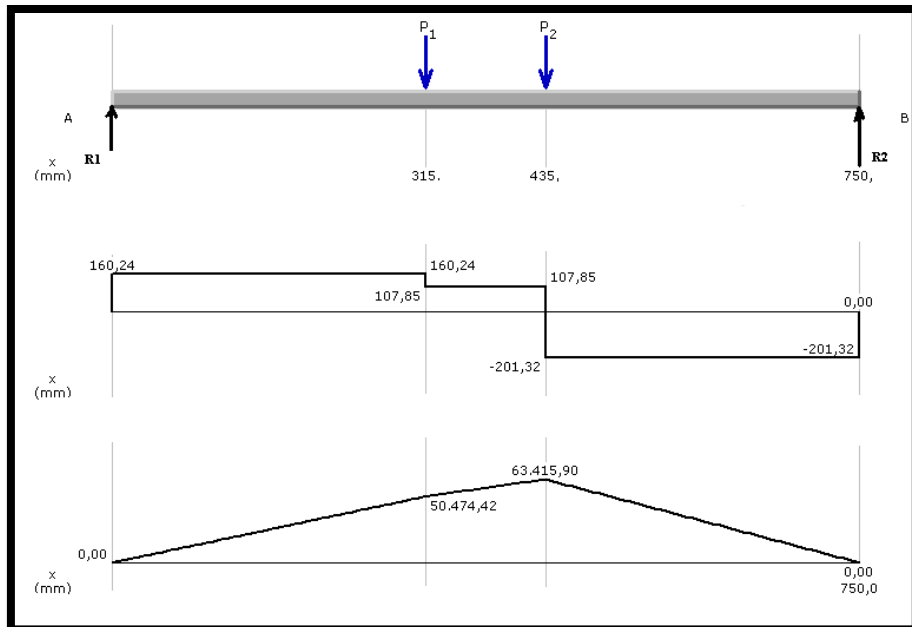
$$F_{1x} = \frac{308.18N}{4} - \frac{308.18}{2} \left( \frac{100mm}{120mm} + \frac{350mm}{520mm} \right) = -155.076 N$$

$$F_{2x} = \frac{308.18N}{4} + \frac{308.18}{2} \left( \frac{100mm}{120mm} - \frac{350mm}{520mm} \right) = 101.6994 N$$

$$F_{3x} = \frac{308.18N}{4} - \frac{308.18}{2} \left( \frac{100mm}{120mm} - \frac{350mm}{520mm} \right) = 52.3906 N$$

$$F_{4x} = \frac{308.18N}{4} + \frac{308.18N}{2} \left( \frac{100mm}{120mm} + \frac{350mm}{520mm} \right) = 309.166 N$$

### 6.6.7. CÁLCULO DEL DIÁMETRO DE EJES GUÍA.



**Figura 6.7:** Diagrama de fuerza cortante y momento flector coordinada X.

**Fuente:** Investigador (Marco Pilamala)

$$\sum Fy = 0$$

$$R_1 + R_2 - 52.3906 - 309.166 = 0$$

$$R_1 = 361.55 - R_2$$

$$R_1 = 160.229 N$$

$$\sum M_A = 0$$

$$-(F_{3x} * 315) - (F_{4x} * 435) + R_1 * 750 = 0$$

$$-(52.3906 * 315) - (309.166 * 435) + R_1 * 750 = 0$$

$$R_2 = 201.32 N$$

Cálculo del momento máximo:

$$A_1 = 160.229 N * 315mm = 50472.135 Nmm$$

$$A_2 = 107.863N * 120 mm = 12939.6Nmm$$

$$A_3 = 201.32 N * 315 mm = 63415.8Nmm$$

Donde:

$A_1 = A_2 = A_3 =$  Momentos en el eje de la coordenada x.

Cálculo del diámetro del eje:

Acero 1018 Anexo 2:

$$S_y = 220 MPa$$

Factor de seguridad de 2.5

Remplazamos en la ecuación 6.6:

$$\sigma_{max} = \frac{S_y}{n}$$
$$\sigma_{max} = \frac{220 MPa}{2.5} = 88MPa$$

Calculamos el módulo de resistencia del material con la ecuación 6.7:

$$S = \frac{M}{\sigma_{max}}$$
$$S = \frac{63415.8 N \cdot mm}{88 \frac{N}{mm^2}}$$
$$S = 720.63 mm^3$$

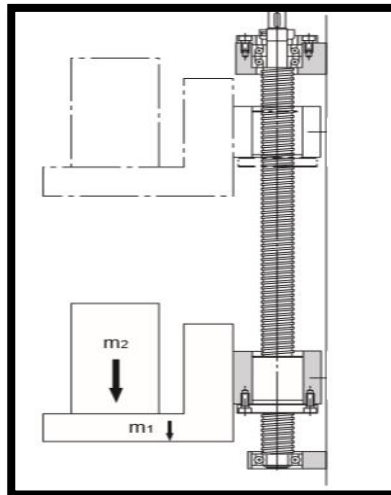
Reemplazamos en la ecuación 6.8 para obtener el diámetro de eje:

$$d_x = \sqrt[3]{\frac{32 * S}{\pi}}$$
$$d_x = \sqrt[3]{\frac{32 * 720.63mm^3}{\pi}}$$
$$d_x = 19.43mm$$

El diámetro del eje guía x es de 19.43mm puesto que en el mercado encontramos ejes de 20mm y para la verificación del posicionamiento de este eje con el servomotor debe ser lo más exacto posible se ha optado por conseguir rodamientos lineales ya que estos nos ayudan con la fricción del sistema que sea casi nula para obtener un buen resultado, ya que en el mercado existe rodamientos de 20mm y nuestro cálculo del eje se acerca al diámetro del rodamiento escogemos un eje de 20mm para la guía del eje x.

#### 6.6.8. DIÁMETRO DEL TORNILLO DE POTENCIA PARA LA COORDENADA Z.

Para el diseño del tornillo de potencia, se debe considerar la fuerza necesaria para mover la estructura que se desplazara en el eje z del robot cartesiano.



**Figura 6.8:** Desplazamiento de la carga del tornillo de la coordenada Z.

**Fuente:** Catálogo de husillo a bolas skf.

Cálculo de la fuerza para el análisis del diámetro de la coordenada Z.

$$P = m_1 * g + m_2 * g \quad \text{Ecuación 6.19}$$

$m_1$  = Peso de trabajo considerado para el diseño de 15 Kg.

$m_2$  = Peso de la estructura 2.268 Kg.

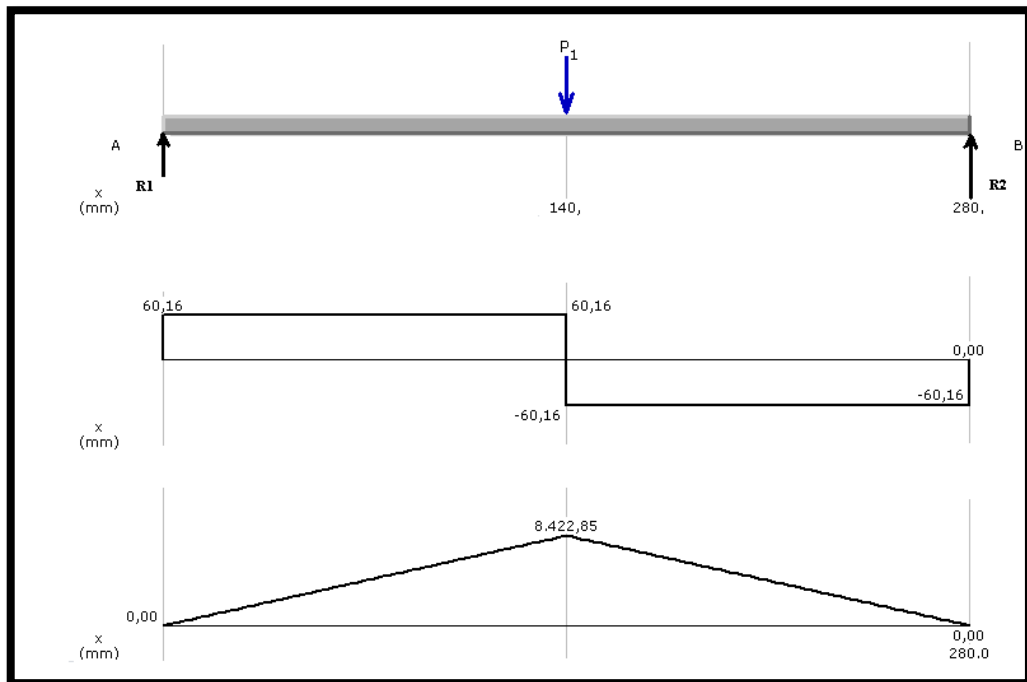
$g$  = gravedad.

$$P = 2.268 \text{ Kg} * 9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} + 15 \text{ Kg} * 9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$P = 120.3264 \text{ N}$$

Para calcular el diámetro del tornillo se realizara un análisis a flexión puesto que soporta la carga de los elementos y se lo considera como si fuera un eje de determinado diámetro el cual está sometido a flexión.

Para esto determinamos el momento máximo del elemento.



**Figura 6.9:** Diagrama de fuerza cortante y momento flector del tornillo del eje Z.

**Fuente:** Investigador (Marco Pilamala)

$$\sum Fy = 0$$

$$R_1 + R_2 - 120.3264 = 0$$

$$R_1 = 120.3264 - R_2$$

$$R_1 = 60.16 N$$

$$\sum M_A = 0$$

$$-(P * 140) + R_2 * 280 = 0$$

$$-(120.3264 * 140) + R_2 * 280 = 0$$

$$R_2 = 60.16 N$$

$$A_1 = 60.16 N * 140 mm = 8022.4 Nmm$$

$$A_2 = 60.16 * 140 mm = 8022.4 Nmm$$

El tornillo está hecho con acero SAE 1045 Anexo 2:

Sy = Resistencia a la fluencia = 345 MPa

Se tiene que el esfuerzo a flexión según SHIGLEY es:

$$\sigma = \frac{32M}{\pi * d^3} \quad \text{Ecuación 6.20}$$

Cálculo del diámetro del tornillo de potencia para el eje z:

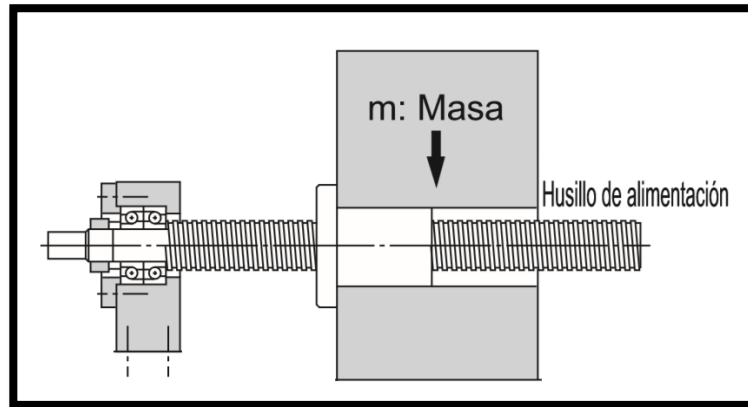
$$d = \sqrt[3]{\frac{32.M.n}{\pi.Sy}} \quad \text{Ecuación 6.21}$$

$$d = \sqrt[3]{\frac{32 * 8022.4 * 3}{\pi * 345}}$$

$$d = 8.92 mm$$

### 6.6.9. CÁLCULO DEL DIÁMETRO DEL TORNILLO DE POTENCIA PARA LA COORDENADA Y.

Para el diseño del tornillo de potencia, se debe considerar la fuerza necesaria para mover la estructura que se desplazara en el eje y del robot cartesiano.



**Figura 6.10:** Desplazamiento de la carga del tornillo de la coordenada Y.

**Fuente:** Catálogo de husillo a bolas skf.

Calculo de la carga ejercida en el sistema.

$$P = m + m_1 + m_2$$

Donde:

P = Fuerza ejercida por la carga, dado por el peso del carro vertical.

$m_1$  = Peso del servomotor z (2.1 Kg)

$m_2$  = Peso de la estructura asumida en z (2.268 Kg)

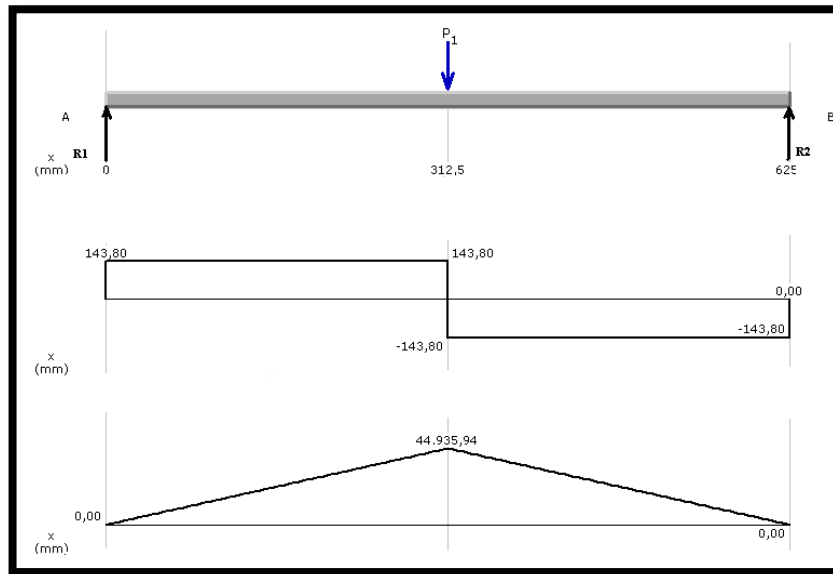
$m_3$  = Peso de la estructura asumida en y (9.972 Kg)

$$P = m_1 * g + m_2 * g + m * g$$

$$P = \left(2.1Kg * 9.8 \frac{m}{s^2}\right) + \left(2.268Kg * 9.8 \frac{m}{s^2}\right) + \left(9.972Kg * 9.8 \frac{m}{s^2}\right) + \left(15 * 9.8 \frac{m}{s^2}\right)$$

$$P = 287.59 N$$

Cálculo del momento máximo del tornillo de la coordenada y:



**Figura 6.11:** Diagrama de fuerza cortante y momento flector tornillo del eje Y.

**Fuente:** Investigador (Marco Pilamala)

$$\sum Fy = 0$$

$$R_1 + R_2 - 287.59 = 0$$

$$R_1 = 287.59 - R_2$$

$$R_1 = 143.8 \text{ N}$$

$$\sum M_A = 0$$

$$-(287.59 * 312.5) + R_2 * 625 = 0$$

$$R_2 = 143.8 \text{ N}$$

$$A_1 = 143.8 \text{ N} * 312.5 \text{ mm} = 44937.5 \text{ Nmm}$$

$$A_2 = 143.8 * 312.5 \text{ mm} = 44937.5 \text{ Nmm}$$

El tornillo está hecho con acero SAE 1045 Anexo 2:

Sy = Resistencia a la fluencia = 345 MPa



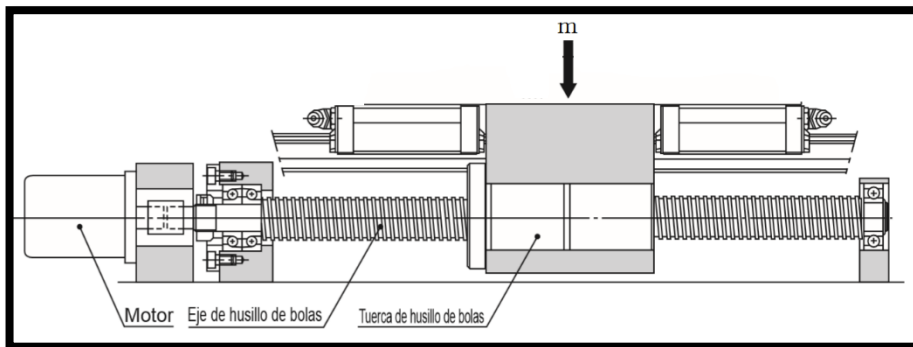
n = factor de seguridad = 3

Remplazamos en la ecuación 6.21 para obtener el diámetro del tornillo de potencia para la coordenada Y:

$$d = \sqrt[3]{\frac{32.M.n}{\pi.Sy}}$$
$$d = \sqrt[3]{\frac{32 * 44937.5 * 3}{\pi * 345}}$$
$$d = 15.84mm$$

#### 6.6.10. CÁLCULO DEL DIÁMETRO DE TORNILLO DE POTENCIA PARA LA COORDENADA X.

Para el diseño del tornillo de potencia, se debe considerar la fuerza necesaria para mover la estructura que se desplazara en el eje x del robot cartesiano.



**Figura 6.12:** Desplazamiento de la carga del tornillo de la coordenada X.

**Fuente:** Catálogo de husillo a bolas skf.

$$P = m_1 * g + m_2 * g + m_3 * g + m * g$$

Donde:

P = Fuerza ejercida por la carga, dada por el peso de la estructura horizontal.

m<sub>1</sub> = Peso del servomotor z (2.1 Kg)

m<sub>2</sub> = Peso de la estructura asumida en la coordenada z (2.268 Kg)

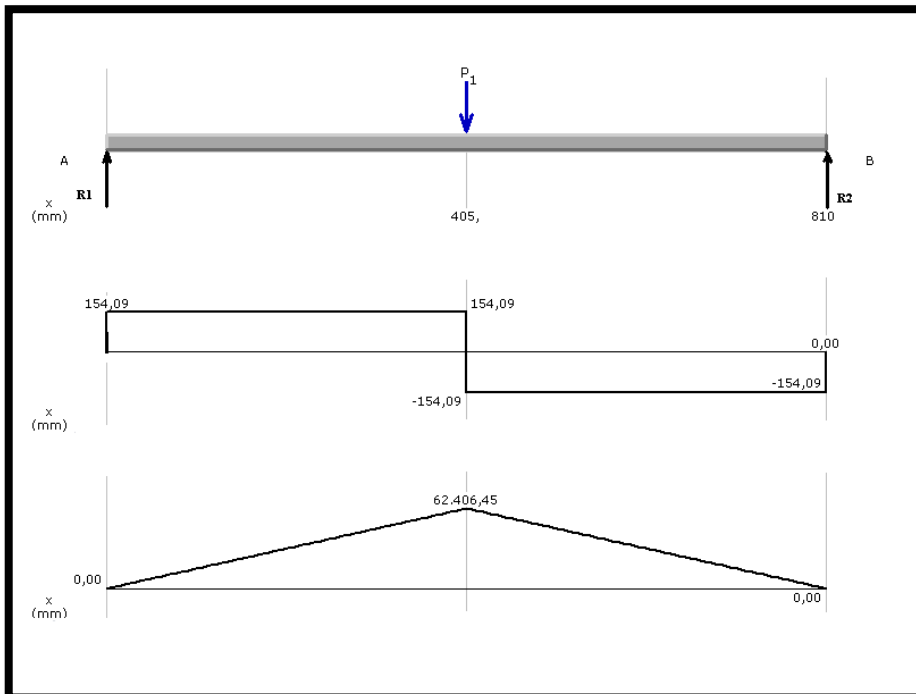
m<sub>3</sub> = Peso de la estructura asumida en la coordenada y (9.979Kg)

m<sub>4</sub> = Peso de la estructura asumida en la coordenada x (14.51 Kg)

$$P = \left(2.1Kg * 9.8 \frac{m}{s^2}\right) * 2 + \left(2.268Kg * 9.8 \frac{m}{s^2}\right) + \left(9.9792Kg * 9.8 \frac{m}{s^2}\right) + \left(14.51Kg * 9.8 \frac{m}{s^2}\right) + \left(15Kg * 9.8 \frac{m}{s^2}\right)$$

$$P = 308.18 N$$

Cálculo del momento máximo del tornillo de la coordenada x:



**Figura 6.13:** Diagrama de fuerza cortante y momento flector tornillo del eje X.

**Fuente:** Investigador Marco Pilamala.

$$\sum Fy = 0$$

$$R_1 + R_2 - 308.18 = 0$$

$$R_1 = 308.18 - R_2$$

$$R_1 = 143.8 N$$

$$\sum M_A = 0$$

$$-(P * 405) + R_2 * 810 = 0$$

$$-(308.18 * 405) + R_2 * 810 = 0$$

$$R_2 = 154.09 N$$

$$A_1 = 154.09 N * 405 mm = 62406.45 Nmm$$

$$A_2 = 154.09 N * 405 mm = 62406.45 Nmm$$

El tornillo está hecho con acero SAE 1045 Anexo 2:

Sy = Resistencia a la fluencia = 345 MPa

n = factor de seguridad = 3

Remplazamos en la ecuación 6.21 para obtener el diámetro del tornillo de potencia para la coordenada X:

$$d = \sqrt[3]{\frac{32.M.n}{\pi.Sy}}$$

$$d = \sqrt[3]{\frac{32 * 62406.45 * 3}{\pi * 345}}$$

$$d = 17.68 mm$$

### 6.6.11. SELECCIÓN DEL TORNILLO DE POTENCIA.

Del cálculo de los diámetros para cada uno de los ejes obtuvimos los siguientes diámetros:

$$d_z = 8.92\text{mm}$$

$$d_y = 15.84\text{mm}$$

$$d_x = 17.68\text{mm}$$

Puesto que para un mejor rendimiento del robot cartesiano para que nos dé un correcto posicionamiento de los ejes hemos optado por adquirir tornillos de potencia que son los husillos a bolas ya que estos nos ayudan a reducir notablemente la fricción durante los movimientos de los cuales del catálogo del Anexo 7 escogimos los más aproximados para los diámetros calculados los cuales son de 16mm y 20mm con paso de 5 para un mejor rendimiento del robot cartesiano.



**Figura 6.14:** Husillos a bolas.

**Fuente:** Investigador Marco Pilamala.

### 6.6.12. SELECCIÓN DE LOS RODAMIENTOS.

El sistema mecánico de movimiento del robot cartesiano está constituido de husillos a bolas apoyados en sus extremos por rodamientos para lo cual seleccionamos los rodamientos para los apoyos.

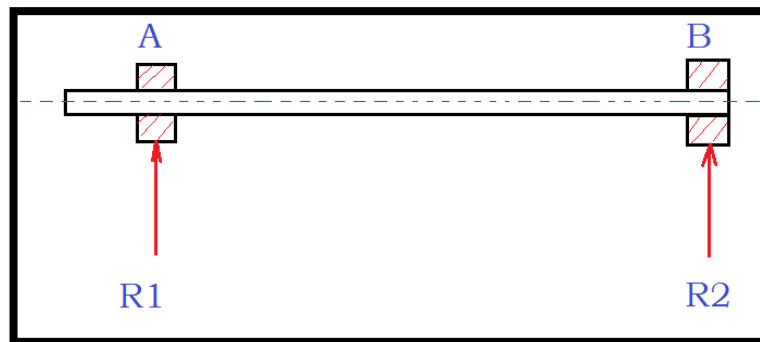
#### Rodamientos eje Z.

##### Datos:

Velocidad de rotación del eje z asumimos a unas 1500 rpm puesto que es la mitad de revoluciones que entrega el servomotor.

La máquina debe tener una confiabilidad del 95% ya que debe ser lo más exacta posible.

Para seleccionar los rodamientos debemos calcular la capacidad de carga estática y dinámica.



**Figura 6.15:** Diagrama de cuerpo libre para seleccionar los rodamientos en Z.

**Fuente:** Investigador Marco Pilamala.

Calculamos con las reacciones obtenidas en los cálculos del tornillo de potencia en el eje Z par este caso es:

$$R1 = R2 = 60.16N$$

Para la selección de los rodamientos realizamos en los dos puntos puesto que la carga es igual.

Para el cálculo de capacidad de carga estática del catálogo de rodamientos SKF tenemos:

$$C_o = S_o * P_o \quad \text{Ecuación 6.22}$$

Donde:

$C_o$  = Capacidad de carga estática.

$S_o$  = Factor de seguridad estático (0.5 por un funcionamiento suave sin vibraciones tomado del catálogo SKF). Anexo 3.

$P_o$  = Carga estática equivalente ( $R1 = R2 = 60.16N$ ).

$$C_o = 0.5 * 66.16 N$$

$$C_o = 30.08 N$$

### Capacidad de Carga Dinámica.

$$C = P * \sqrt[3]{\frac{L_{10}h*n*60}{1000000*a_1*a_{23}}} \quad \text{Ecuación 6.23}$$

Datos obtenidos del catálogo SKF:

Con un 95 % de fiabilidad tenemos.

$a_1$  = factor de ajuste de vida = 0.62 Anexo 4.

$a_{23}$  = factor de seguridad estático = 2 asumido

$L_{10}h$  = 8000 horas para máquinas de poco trabajo Anexo 5.

$$C = 60.16 * \sqrt[3]{\frac{8000 * 1500 * 60}{1000000 * 0.62 * 2}}$$

$$C = 501.89 N$$

$$C = 0.50189 \text{ KN}$$

Con el valor de C (capacidad de carga dinámica) vamos al catálogo SKF y escogemos el rodamiento Anexo 6.

Rodamiento 61801.

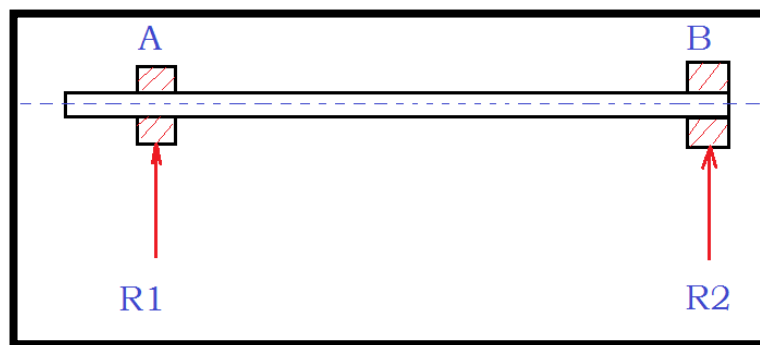
$$d = 12 \text{ mm}$$

$$D = 21 \text{ mm}$$

$$B = 5 \text{ mm}$$

Por ser el más cercano al valor obtenido.

**Rodamientos eje Y.**



**Figura 6.16:** Diagrama de cuerpo libre para seleccionar los rodamientos en Y.

**Fuente:** Investigador Marco Pilamala.

Calculamos con las reacciones obtenidas en los cálculos del tornillo de potencia en el eje Y para este caso es:

$$R1 = R2 = 143.8 \text{ N}$$

Para la selección de los rodamientos realizamos en los dos puntos puesto que la carga es igual.

Para el cálculo de capacidad de carga estática del catálogo de rodamientos SKF tenemos:

$C_o$  = Capacidad de carga estática.

$S_o$  = Factor de seguridad estático (0.5 por un funcionamiento suave sin vibraciones tomado del catálogo SKF). Anexo 3.

$P_o$  = Carga estática equivalente ( $R_1 = R_2 = 143.8N$ ).

$$C_o = 0.5 * 143.8 N$$

$$C_o = 71.9 N$$

### **Capacidad de Carga Dinámica.**

$$C = P * \sqrt[3]{\frac{L_{10}h * n * 60}{1000000 * a_1 * a_{23}}}$$

Datos obtenidos del catálogo SKF:

Con un 95 % de fiabilidad tenemos.

$a_1$  = factor de ajuste de vida = 0.62 Anexo 4.

$a_{23}$  = factor de seguridad estático = 2 asumido

$L_{10}h$  = 8000 horas para máquinas de poco trabajo Anexo 5.

$$C = 143.8 N * \sqrt[3]{\frac{8000 * 1500 * 60}{1000000 * 0.62 * 2}}$$

$$C = 1199.67N$$

$$C = 1.199 KN$$



Con el valor de C (capacidad de carga dinámica) vamos al catálogo SKF y escogemos el rodamiento Anexo 6.

Rodamiento 61901.

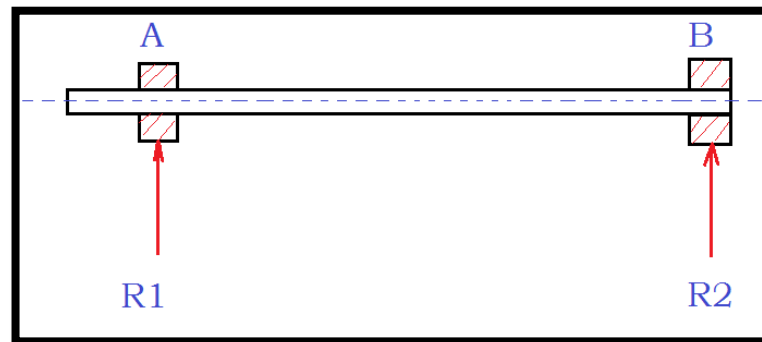
$d = 12 \text{ mm}$

$D = 24 \text{ mm}$

$B = 6 \text{ mm}$

Por ser el más cercano al valor obtenido.

**Rodamientos eje X.**



**Figura 6.17:** Diagrama de cuerpo libre para seleccionar los rodamientos en X.

**Fuente:** Investigador Marco Pilamala.

Calculamos con las reacciones obtenidas en los cálculos del tornillo de potencia en el eje Y para este caso es:

$R1 = 143.8 \text{ N}$

$R2 = 154.09 \text{ N}$

Para la selección de los escogemos el de mayor valor.

Para el cálculo de capacidad de carga estática del catálogo de rodamientos SKF tenemos:

$C_o =$  Capacidad de carga estática.

$S_o$  = Factor de seguridad estático (0.5 por un funcionamiento suave sin vibraciones tomado del catálogo SKF). Anexo 3.

$P_o$  = Carga estática equivalente ( $R_1 = R_2 = 154.09N$ ).

$$C_o = 0.5 * 154.09N$$

$$C_o = 77.04 N$$

### Capacidad de Carga Dinámica.

$$C = P * \sqrt[3]{\frac{L_{10}h * n * 60}{1000000 * a_1 * a_{23}}}$$

Datos obtenidos del catálogo SKF:

Con un 95 % de fiabilidad tenemos.

$a_1$  = factor de ajuste de vida = 0.62 Anexo 4.

$a_{23}$  = factor de seguridad estático = 2 asumido

$L_{10}h$  = 8000 horas para máquinas de poco trabajo Anexo 5.

$$C = 154.09 N * \sqrt[3]{\frac{8000 * 1500 * 60}{1000000 * 0.62 * 2}}$$

$$C = 1285.4 N$$

$$C = 1.285 KN$$

Con el valor de C (capacidad de carga dinámica) vamos al catálogo SKF y escogemos el rodamiento Anexo 6.

Rodamiento 6001.

$d = 12 \text{ mm}$

$D = 28 \text{ mm}$

$B = 8 \text{ mm}$

Por ser el más cercano al valor obtenido.

Los rodamientos obtenidos son casi los mismos por lo que se obtuvo una sola serie de rodamientos para la construcción de la máquina.

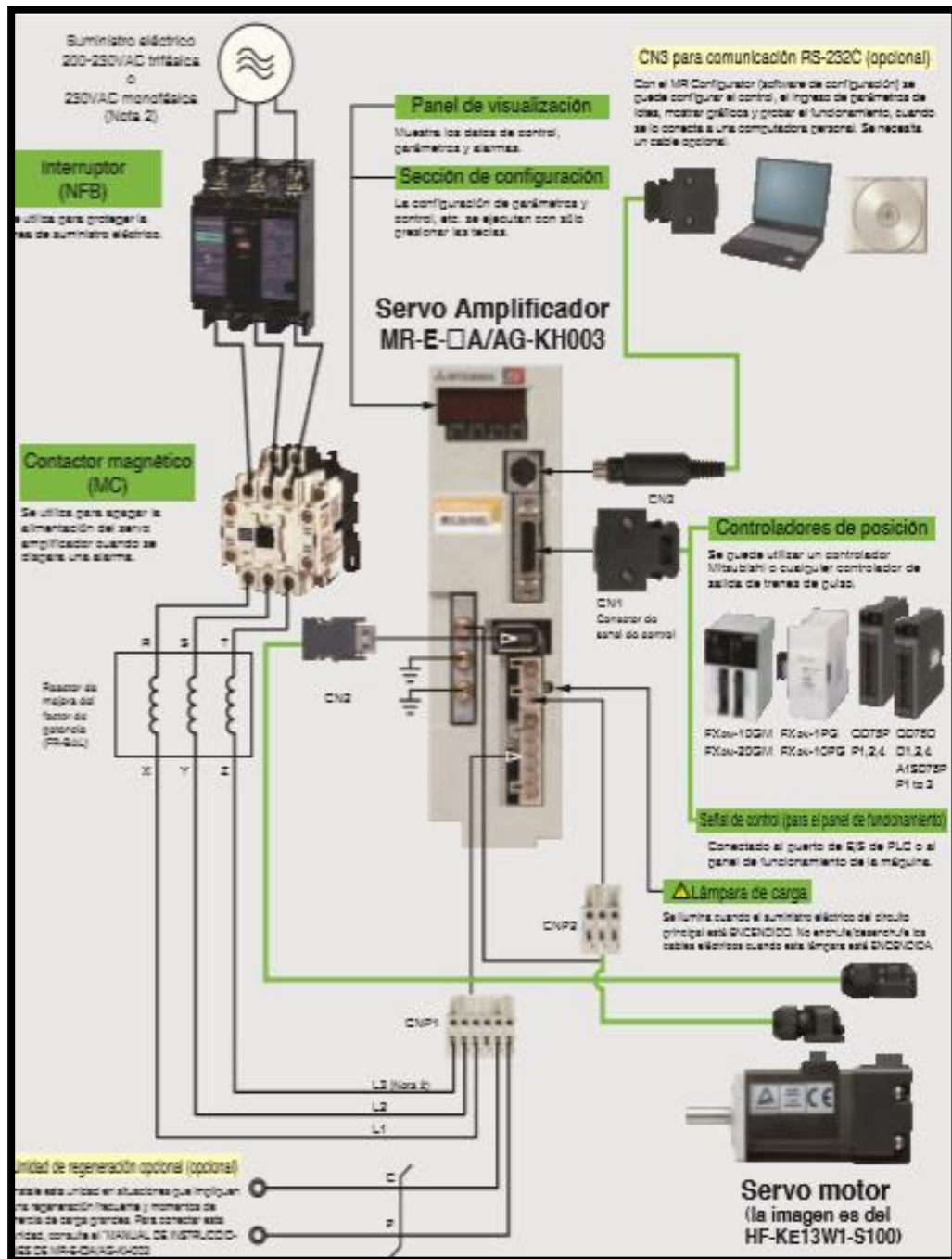
### **6.6.13. DISEÑO DEL SISTEMA ELÉCTRICO PARA EL TABLERO DE CONTROL.**

Para la realización del sistema eléctrico de control del robot cartesiano utilizamos los siguientes materiales:

- Pulsadores.
- Selector.
- Pilotos de señalización.
- Contactares.
- Fusibles.
- Borneras de carril.
- Cables.

### **6.6.14. CONEXIONES CON EQUIPOS PERIFÉRICOS DEL SERVO DRIVER MR-E SÚPER.**

Se deben conectar los equipos periféricos a MR-E Súper según se describe a continuación. Hay disponibles conectores, opcionales y otros equipos necesarios para que los usuarios puedan configurar el MR-E Súper fácilmente y comenzar a utilizarlo de inmediato.



**Figura 6.18:** Conexiones con equipos periféricos del servo driver MR-E Súper.

**Fuente:** Catálogo Mitsubishi Electric.

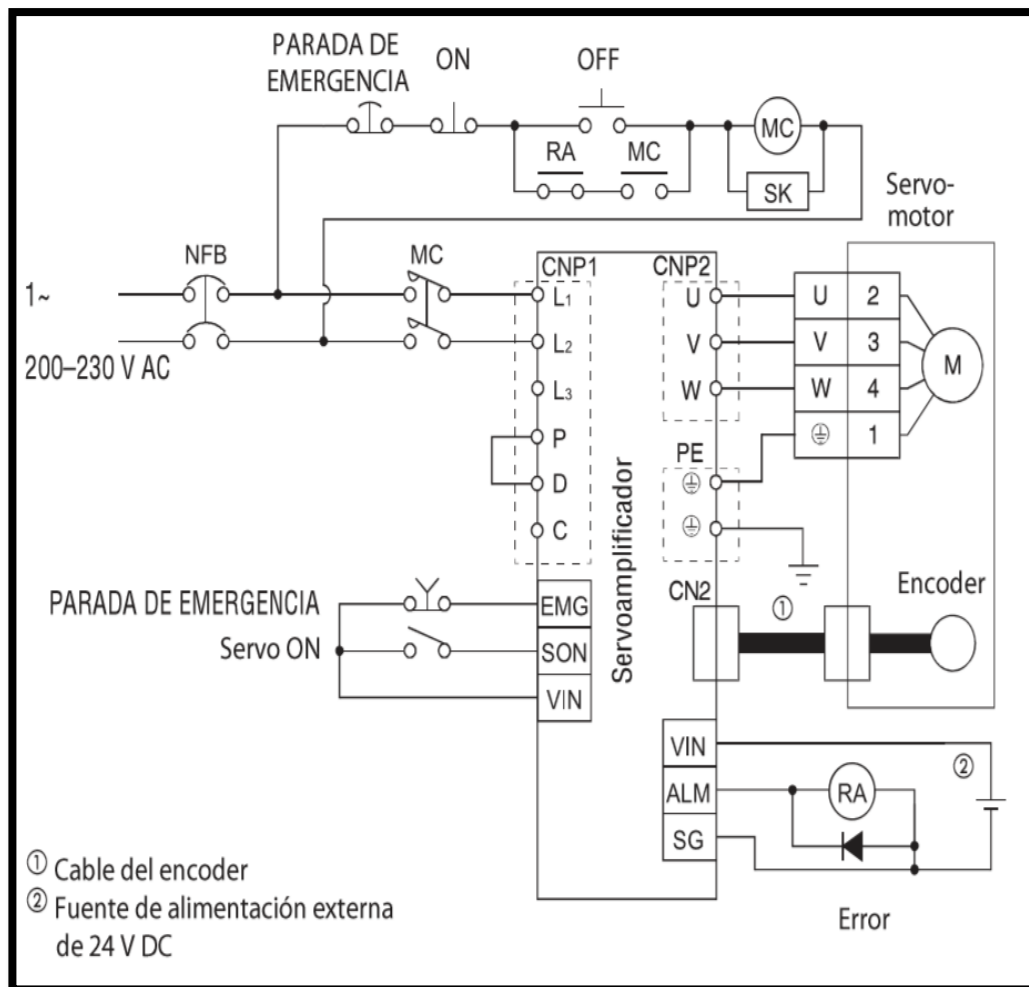
### 6.6.15. CONFIGURACIÓN ELÉCTRICA DEL SERVO DRIVER MR-E SUPER.

Instrucciones de instalación para los servoamplificadores MR-E Súper:

**Tabla 6.1:** Configuración eléctrica del servo driver MR-E Súper.

Bornes de potencia	
Descripción	Señal
L <sub>1</sub> , L <sub>2</sub> , L <sub>3</sub>	Fuente de alimentación.
P, C, D	Resistencia de frenado opcional/unidad de frenado.
U, V, W	Salida del servomotor.
PE	Conductor de puesta a tierra.

**Fuente:** Catálogo Mitsubishi Electric.



**Figura 6.19:** Configuración eléctrica del servo driver MR-E Súper.

**Fuente:** Catálogo Mitsubishi Electric.

## 6.6.16. CONEXIONES CON EQUIPOS PERIFÉRICOS DEL SERVO DRIVER MR-J3-A.

El equipo periférico se conecta a MR-J3-A tal como se describe a continuación. Los conectores, opciones y otros equipos necesarios están disponibles para que los usuarios puedan instalar el MR-J3-A fácilmente y comenzar a utilizarlo de inmediato.

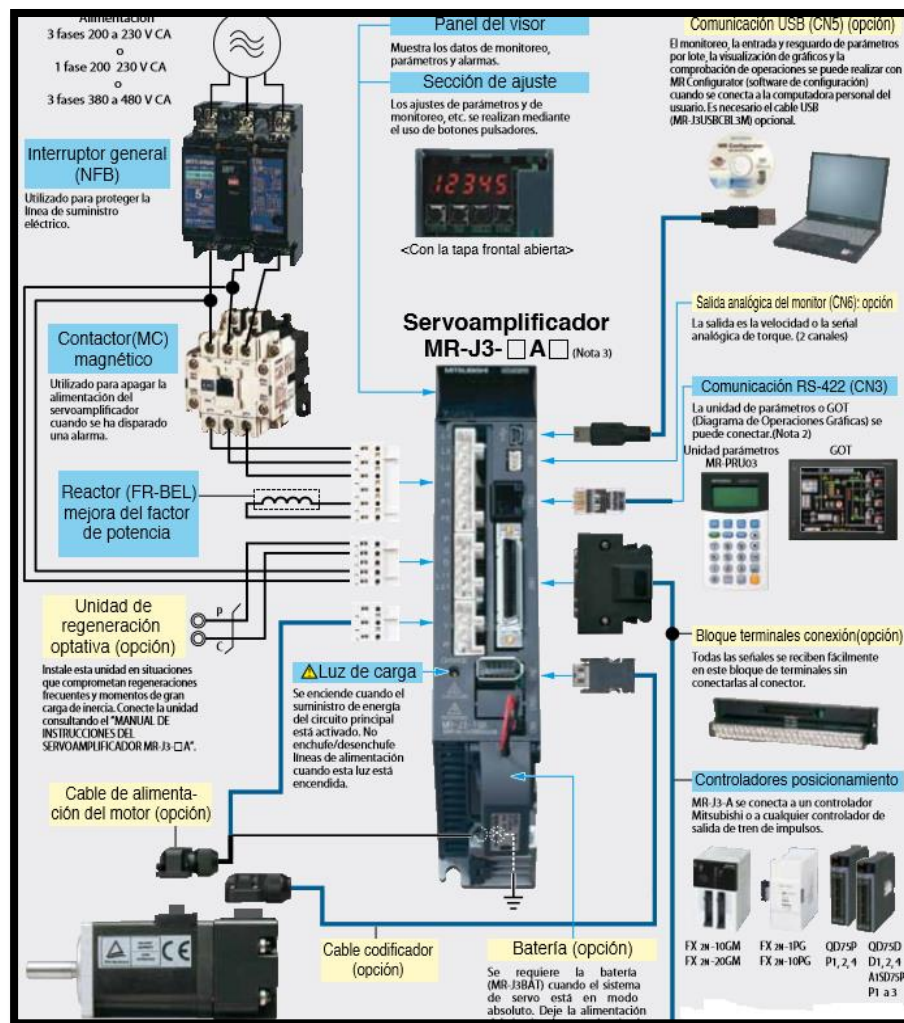


Figura 6.20: Conexiones con equipos periféricos del servo driver MR-J3-A.

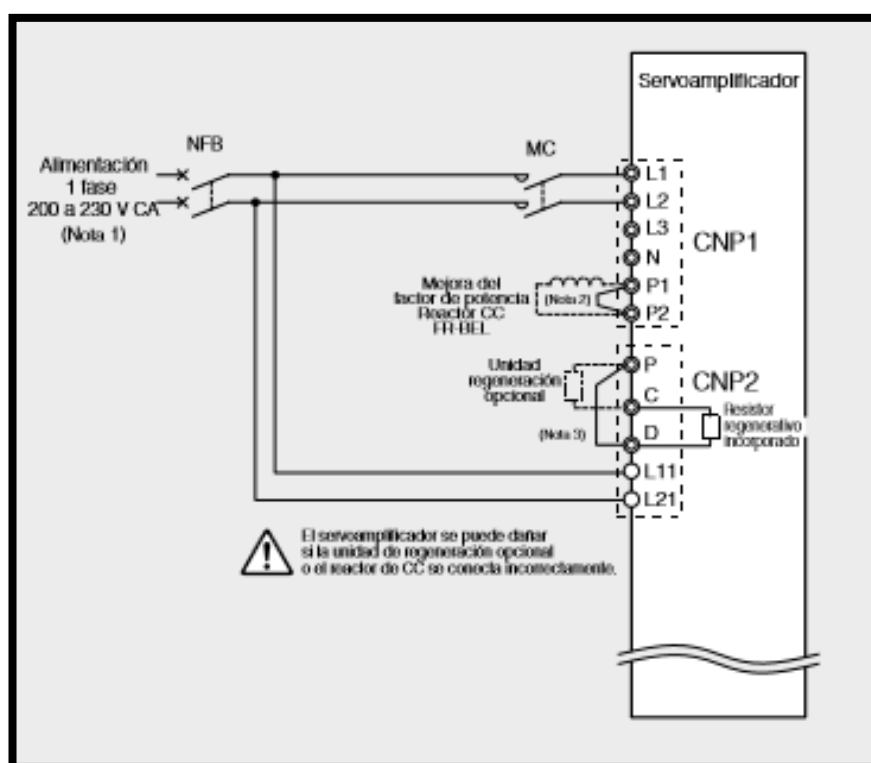
Fuente: Catálogo Mitsubishi Electric.

### 6.6.17. CONEXIÓN ELÉCTRICA DEL SERVO AMPLIFICADOR MR-J3.

El suministro de tensión está correctamente conectados a los terminales de tensión del servoamplificador (Trifásico: L1, L2, L3, L11, L21/ monofásico: L1, L2, L11, L21).

La asignación de los terminales (U, V, W) de la salida de potencia del servoamplificador concuerda en la fase con la asignación de los terminales (U, V, W) de la entrada de potencia del servomotor.

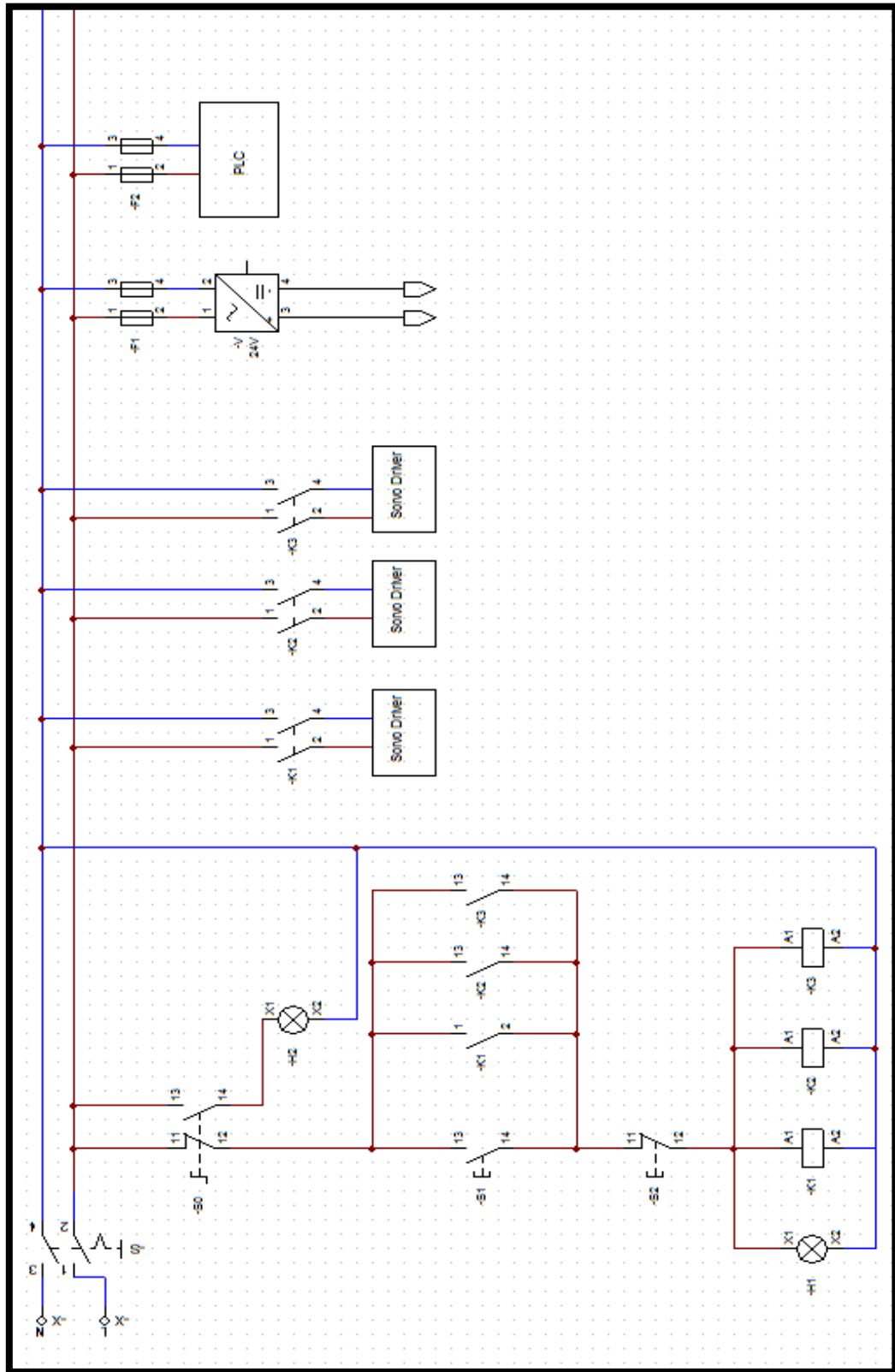
Para la serie MR-J3 40A se puede realizar conexión monofásica a 220V.



**Figura 6.21:** Conexión eléctrica del servo amplificador MR-J3-A.

**Fuente:** Catálogo Mitsubishi Electric.

### 6.6.18. DIAGRAMA DE CONTROL ELÉCTRICO.



**Figura 6.22:** Diagrama de control eléctrico.  
**Fuente:** Investigador (Marco Pilamala)



### 6.6.19. CONTROL DEL PLC - SERVO DRIVERS.

Para el funcionamiento y control de mando del robot cartesiano, se utilizó un PLC de marca XINJE por ser este adecuado para nuestro proyecto ya que es de fácil manipulación y montaje, con las siguientes características:



**Figura 6.23:** PLC XINJE XCM-32T4-E.

**Fuente:** Recuperado de la página (<http://es.aliexpress.com/w/wholesale-phase-counter.html>)

#### Características del PLC.

- Especial PLC para el control de movimiento, apoyo 4 canales de salida de impulsos.
- 1 canal AB fase contador.
- Salida de transistor y 220 V AC o fuente de alimentación DC24V.
- Soporte interpolación y siguientes instrucciones.
- Mayor capacidad y mayor velocidad de procesamiento.
- Se puede conectar con el módulo de expansión y tabla BD, soporte Modbus (Catálogo de XINJE).

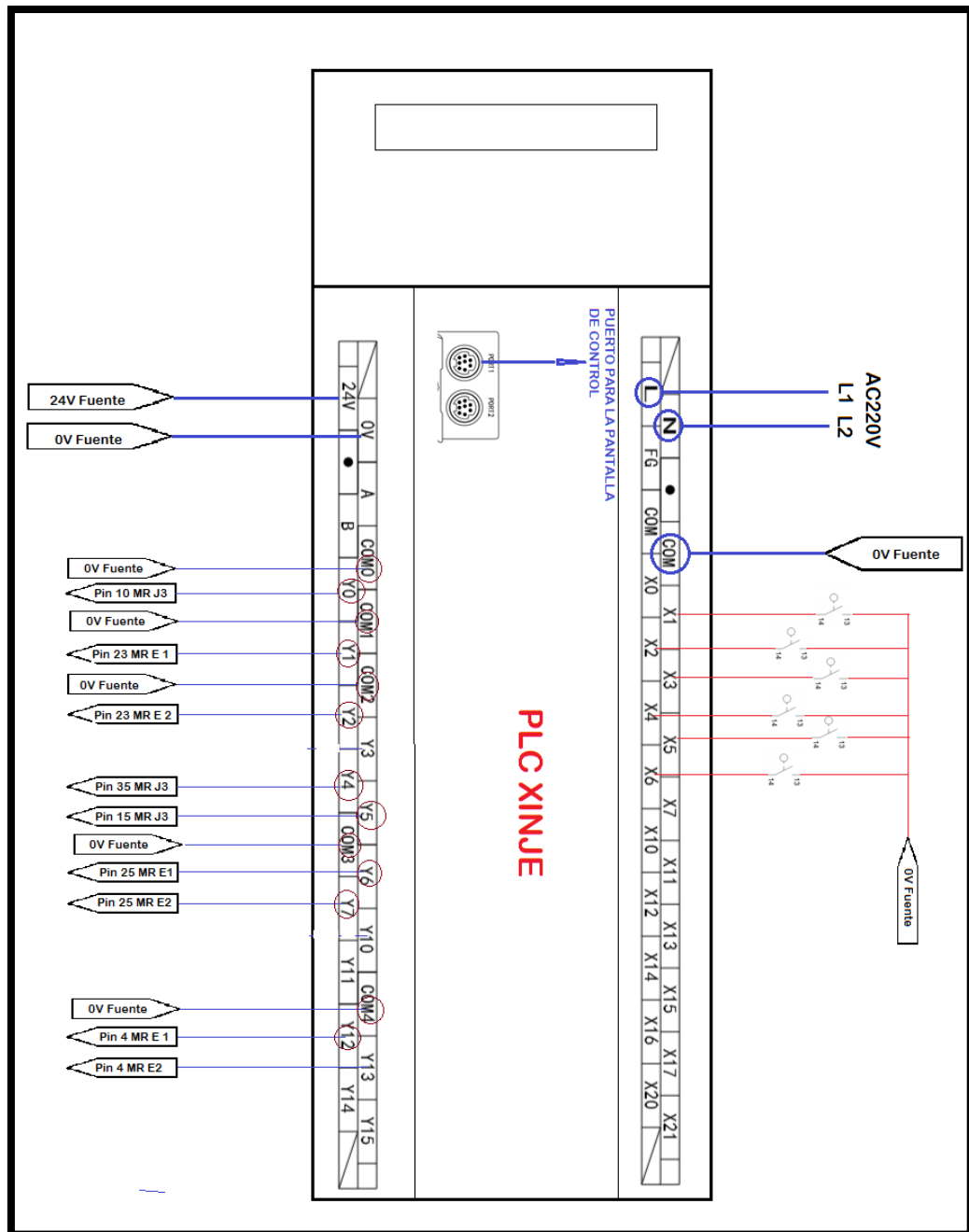
## Especificaciones del PLC XINJE.

**Tabla 6.2:** Especificaciones PLC XINJE XCM 32T4-E.

Artículo		Especificación
		32 puntos
Modo de operación del programa		Modo de escaneo Circulation, de exploración de tiempo
Modo de programación		Instrucciones y diagrama de escalera
Velocidad de procesamiento		0.5us
Apagado retentiva		FlashROM y Li batería
Capacidad del programa de usuario		128KB
I/o		18 de entrada/salida 14
Bobina (m)		8512 puntos
Flujo (s)		1024 puntos
Temporizador (T)	Puntos	640 puntos
	Spec	100 mS temporizador: Establecer hora 0.1 ~ 3276.7 segundos
		10 mS temporizador: Establecer hora 0.01 ~ 327.67 segundos
		1 mS temporizador: Establecer hora 0.001 ~ 32.767 segundos
		Con exactitud temporizador de interrupción
Contador (C)	Puntos	640 puntos
	Spec	16 bits del contador: set K0 valor ~ 32767
		32 bits del contador: set K0 valor ~ 2147483647
Registro de datos (D)		4512 palabras
FlashROM Register (FD)		474 palabras
Registro de extensión (ED)		36864 palabras
Función de alta velocidad		Contador de alta velocidad, salida de pulsos, la interrupción externa
Ajuste de intervalo de exploración de tiempo		0 ~ 99 ms
Protección de contraseña		Código ASCII
Función de auto-diagnóstico		Power On Self-diagnóstico, el seguimiento automático, gramatical

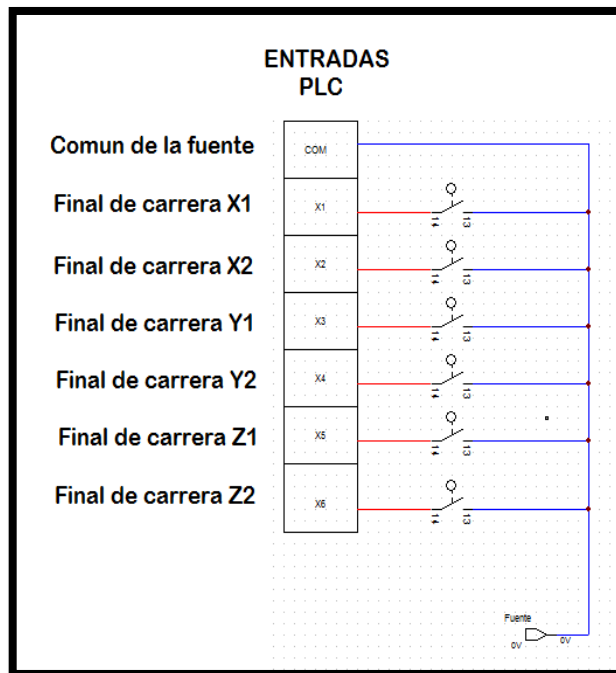
**Fuente:** Catálogo PLC XINJE.

## 6.6.20. DIAGRAMAS DE CONEXIONES DEL PLC Y SERVO DRIVERS.



**Figura 6.24:** Conexión del PLC XINJE XCM-32T4-E.

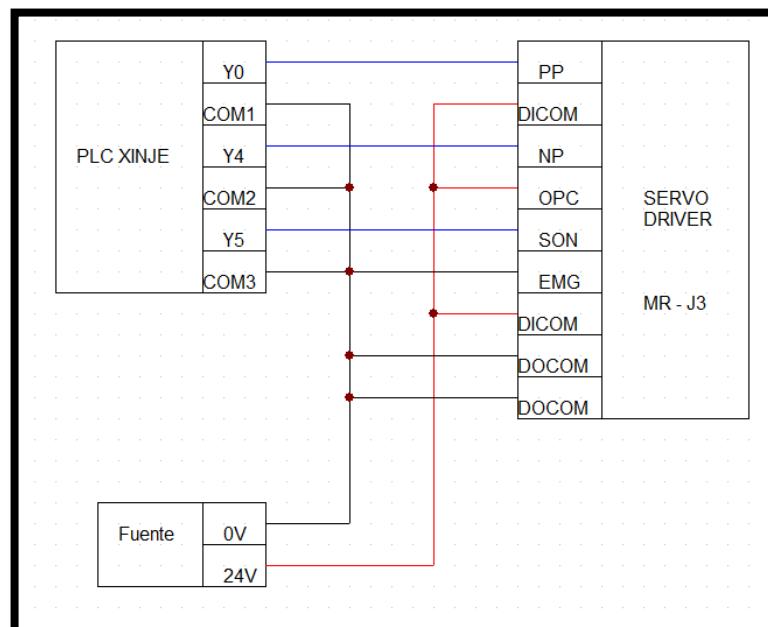
**Fuente:** Investigador (Marco Pilamala)



**Figura 6.25:** Conexión del PLC XINJE XCM-32T4-E entrada de los finales de carrera.

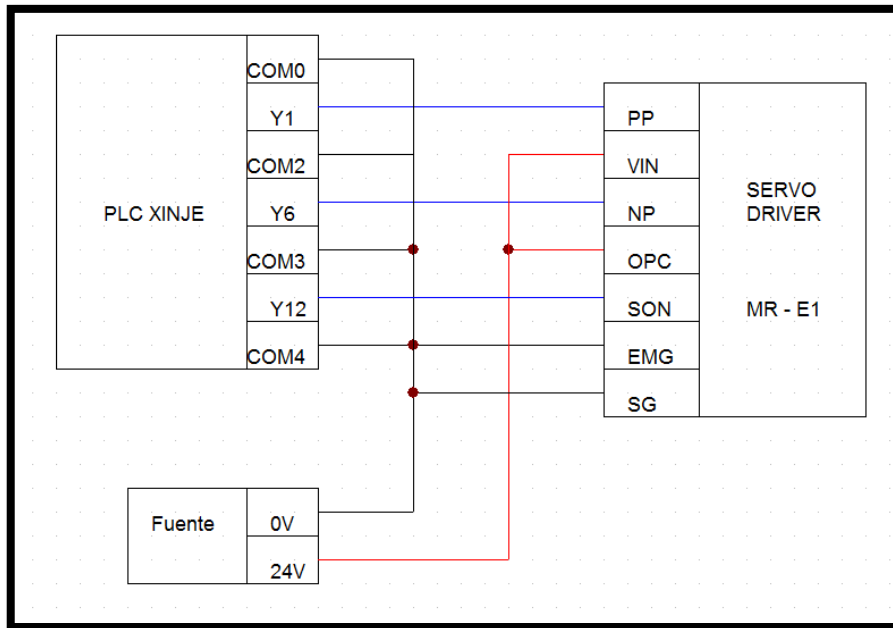
**Fuente:** Investigador (Marco Pilamala)

Para el control del Servo Driver, tenemos que conectar tres señales de pulso (PP, NP, SON) al PLC, las cuales en las figura 6.25, 6.26, 6.27 indicamos como están conectado:



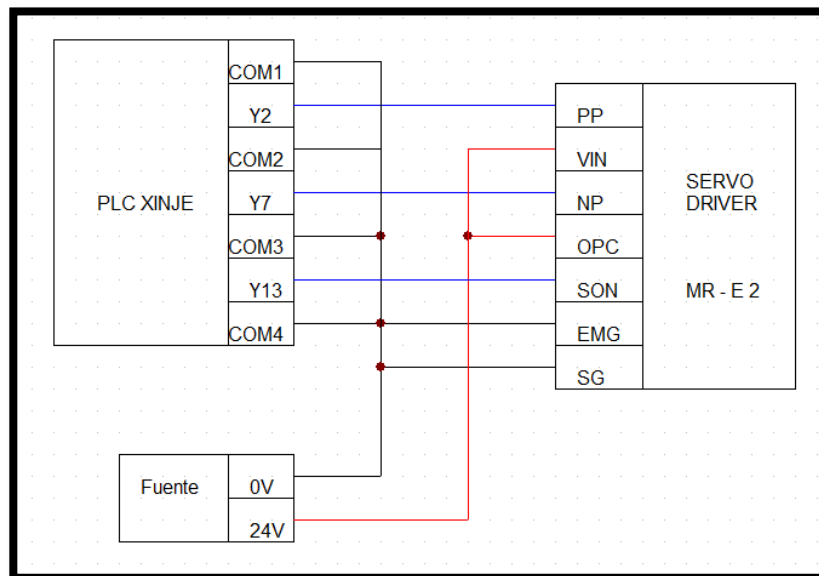
**Figura 6.26:** Conexión del PLC hacia el servo driver MR-J3 Eje X.

**Fuente:** Investigador (Marco Pilamala)



**Figura 6.27:** Conexión del PLC hacia el servo driver MR-E 1 Eje Y.

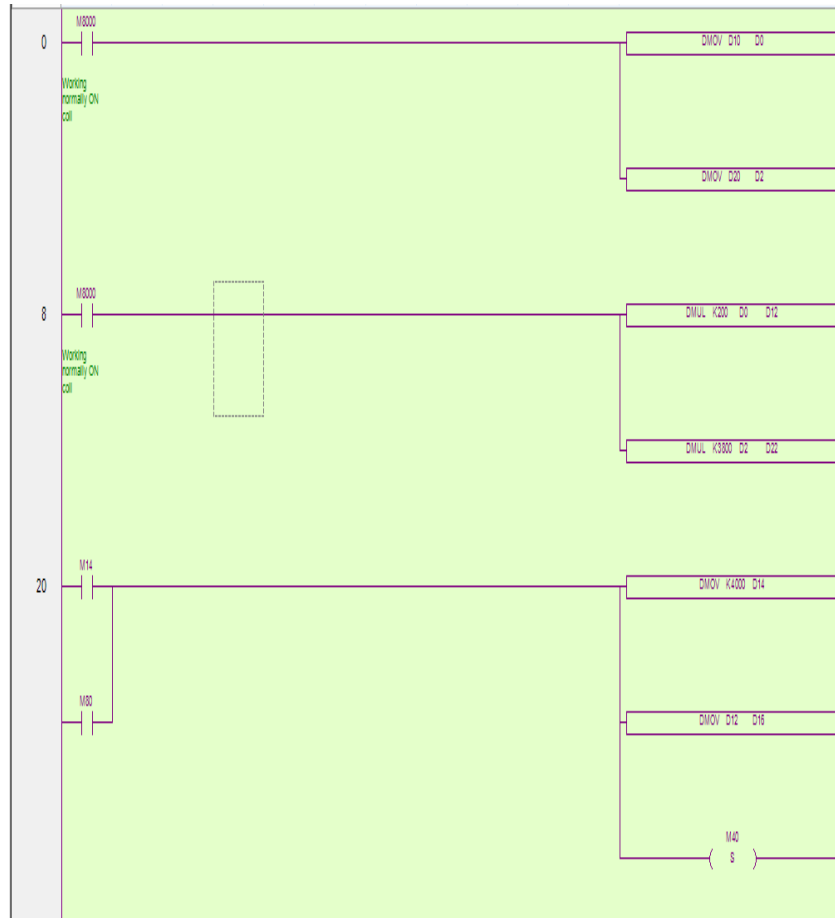
**Fuente:** Investigador (Marco Pilamala)



**Figura 6.28:** Conexión del PLC hacia el servo driver MR-E 2 Eje Z.

**Fuente:** Investigador (Marco Pilamala)

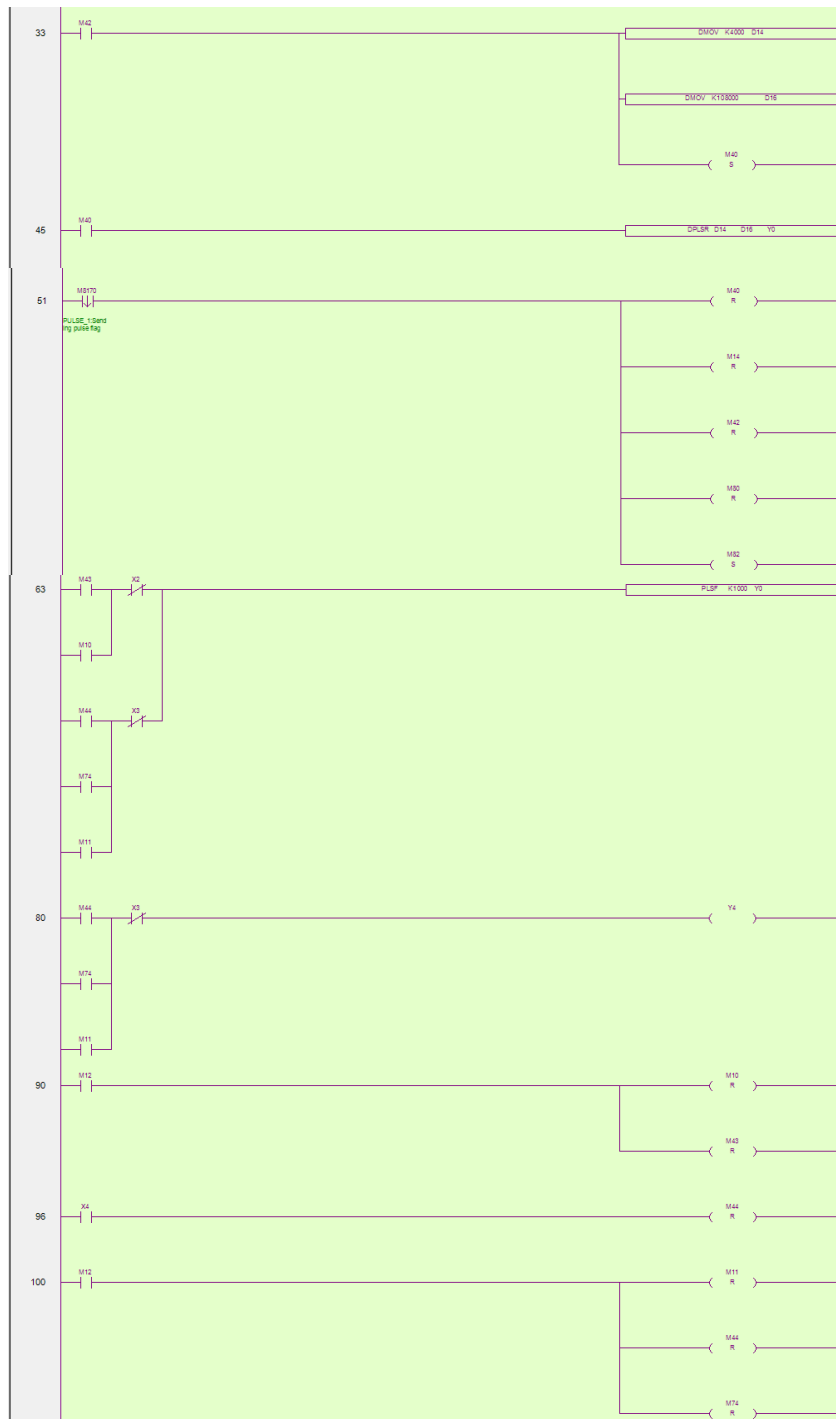
En la figura 6.29 se muestra el programa cargado en el PLC XINJE XCM-32T4-E para realizar los movimientos del robot cartesiano.



**Figura 6.29:** Programa almacenado en la memoria del PLC.

**Fuente:** Investigador (Marco Pilamala).

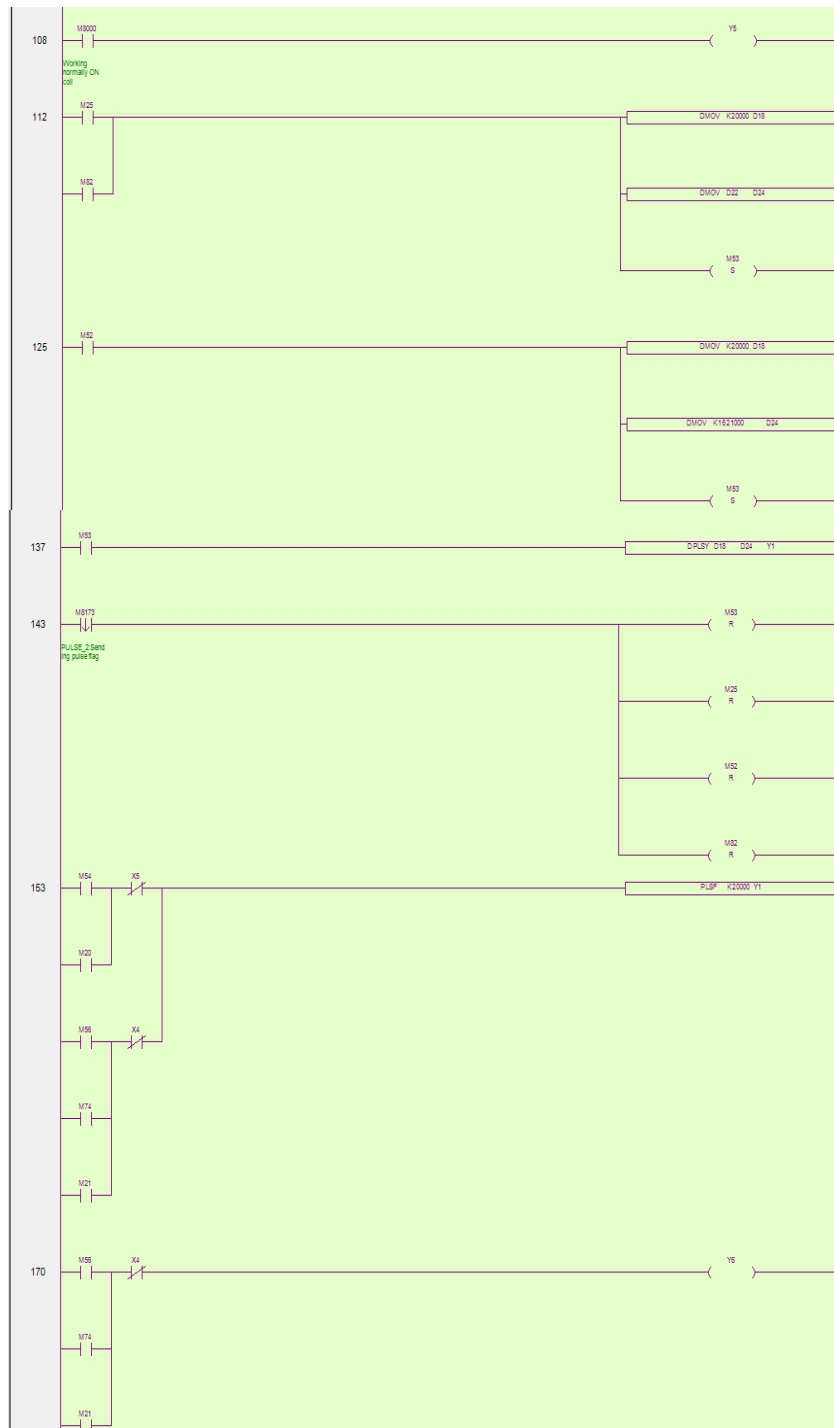
Continuación del programa:



**Figura 6.30:** Programa almacenado en la memoria del PLC.

**Fuente:** Investigador (Marco Pilamala).

Continuación del programa.

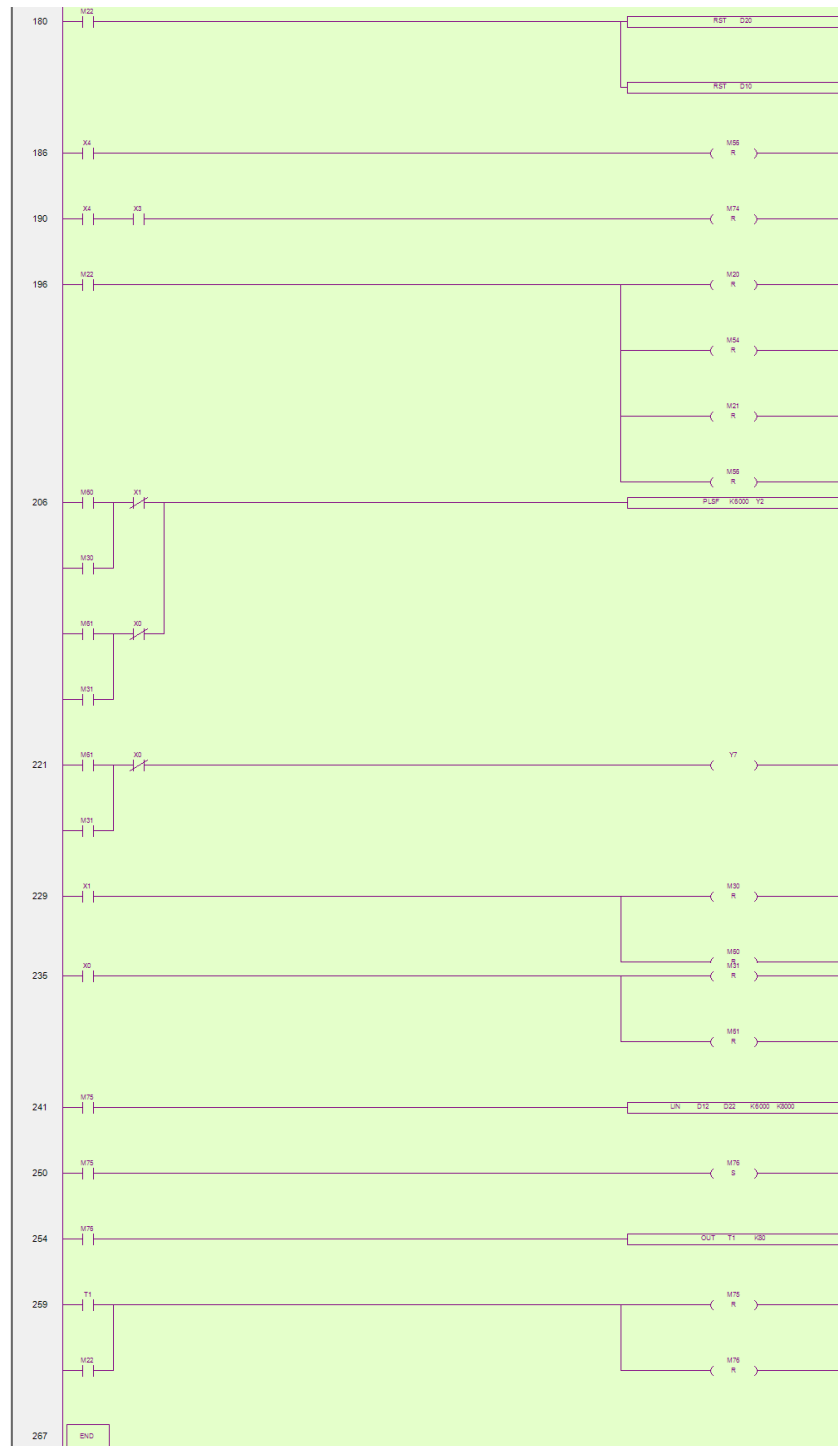


**Figura 6.31:** Programa almacenado en la memoria del PLC.

**Fuente:** Investigador (Marco Pilamala).



Continuación del programa.



**Figura 6.32:** Programa almacenado en la memoria del PLC.

**Fuente:** Investigador (Marco Pilamala).

Para la manipulación del robot cartesiano se adquirió una pantalla de control la cual describimos su programación a continuación:

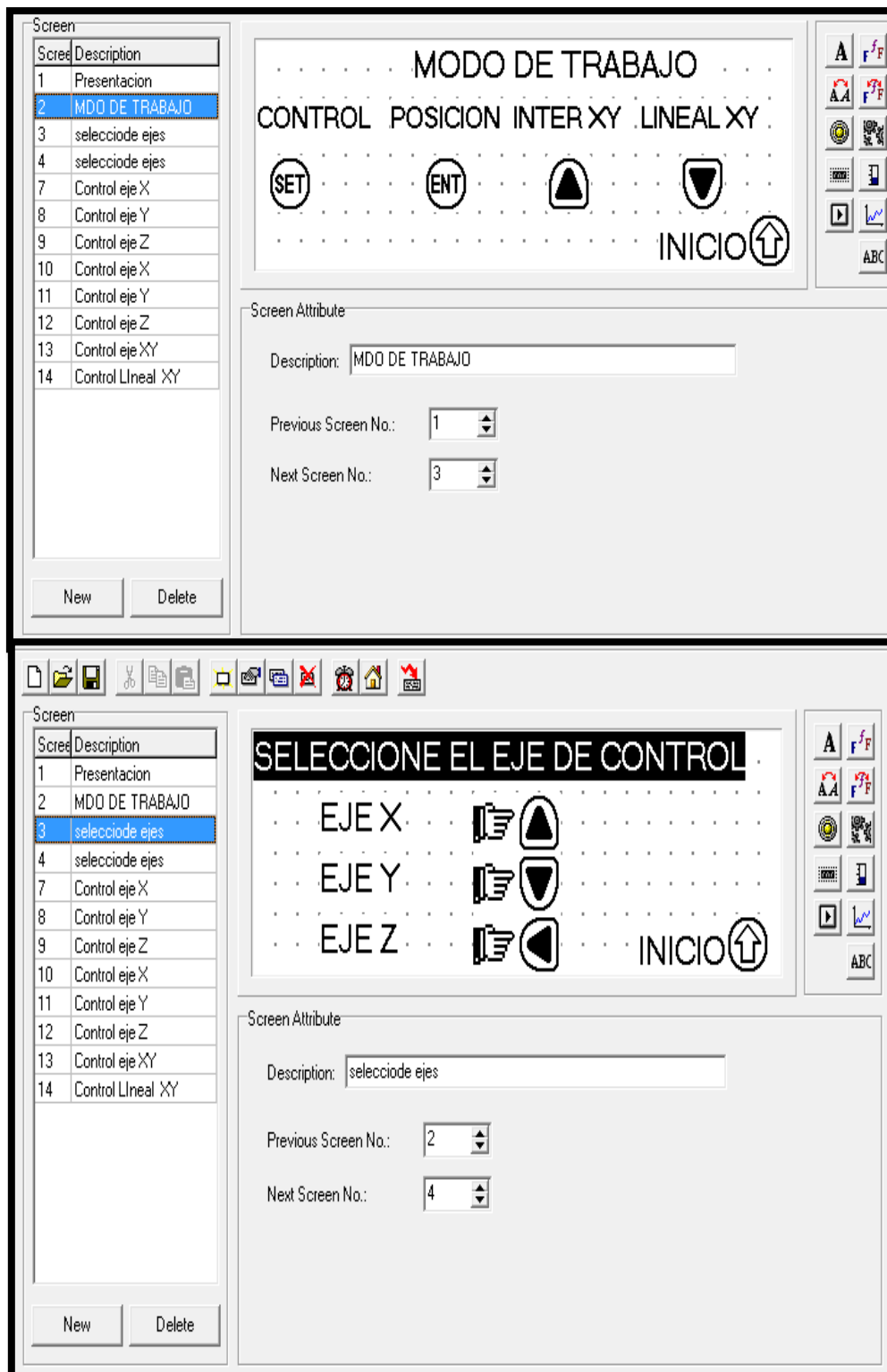
### **Descripción de la pantalla de control XINJE OP-320.**

- 3,7 pulgadas LCD.
- Fuente de alimentación DC24V.
- PLC DE OP. SYS. HMI (interfaz de la serie de máquina humano).
- Puede comunicar con la mayoría de la marca de modelos del PLC.



**Figura 6.33:** Pantalla de control.

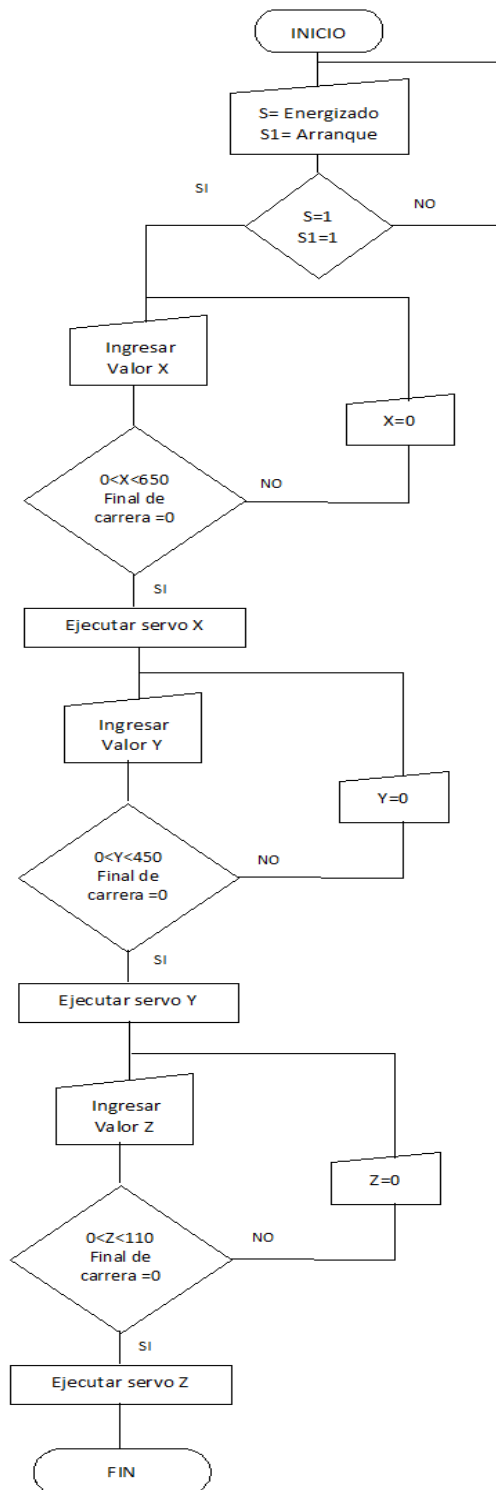
**Fuente:** Recuperado de (<http://spanish.touch-screen-hmi.com/sale-2033982-siemens-omron-plc-hmi-monitors-with-password-protection-64kb-flash-rom.html>)



**Figura 6.34:** Programa almacenado en la pantalla de control.

**Fuente:** Investigador (Marco Pilamala).

**6.6.21. FLUJOGRAMA DE FUNCIONAMIENTO DEL ROBOT CARTESIANO.**

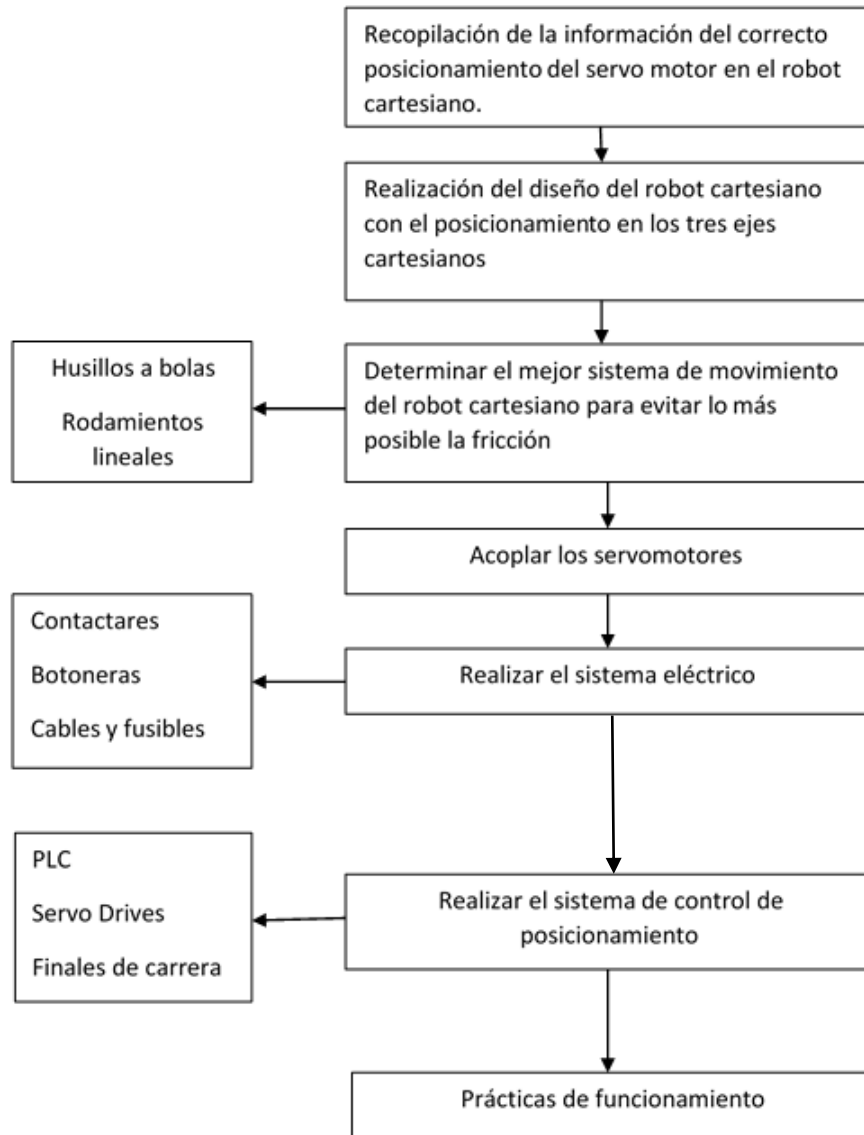


**Figura 6.35:** Flujograma de funcionamiento del Robot Cartesiano.

**Fuente:** Investigador (Marco Pilamala).

## 6.7. METODOLOGÍA.

Para la realización de este proyecto de posicionamiento de los servomotores Mitsubishi se siguió con los siguientes parámetros de diseño y control para el funcionamiento del robot cartesiano.



**Figura 6.36:** Metodología para la realización del Robot Cartesiano.

**Fuente:** Investigador (Marco Pilamala).

## 6.8. ADMINISTRACIÓN.

Para la realización de este proyecto se utilizó diferentes materiales y equipos para el sistema eléctrico, sistema de control de posición y para la construcción del robot cartesiano, para lo cual se debe tomar en consideración los costos que representaron en la ejecución del presente proyecto.

### 6.8.1. COSTOS DIRECTOS.

**Tabla 6.1:** Costos Directos de materiales.

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO UNITARIO(\$)	COSTO TOTAL(\$)
Platina de acero 580*110*5mm	Unidad	2	4.65	9.31
Platina de acero 400*200*5mm	Unidad	2	3.20	6.40
Platina de acero 135*116*5mm	Unidad	1	1.80	1.80
Platina de acero 250*120*5mm	Unidad	1	2.20	2.20
Platina de acero 120*85*5 mm	Unidad	2	0.55	1.10
Perfil C acero estructural	m	2.80	2.50	7.00
Eje de acero 1020 (750*20mm)	Unidad	2	7.30	14.6
Eje de acero 1020 (250*20mm)	Unidad	2	2.43	4.86
Eje de acero 1020 (565*20mm)	Unidad	2	5.49	10.98
Husillo a bolas (865*20mm)	Unidad	1	344.24	344.24
Husillo a bolas (680*16mm)	Unidad	1	252.70	252.70
Husillo a bolas (365*16mm)	Unidad	1	172.90	172.90
Rodamientos Lineales	Unidad	10	7.82	78.20
Chumaceras de pared ½"	Unidad	6	42.00	252.00
Bocines de aluminio	Unidad	3	6.26	18.78
Caja de control 60*40	Unidad	1	110.20	110.20
Contactores 25AMP AC220	Unidad	3	15.00	45.00
Breaker 220-400V	Unidad	1	21.48	21.48
Fusibles 220V	Unidad	2	4.95	9.90

Borneras para riel	Unidad	6	6.00	6.00
Canaletas	m	1	8.49	8.49
Fuente 24V	Unidad	1	54.00	54.00
PLC Xinje	Unidad	1	900.00	900.00
Pantalla de control Xinje	Unidad	1	200.00	200.00
Finales de carrera	Unidad	6	2.00	12.00
Cable flexible 14 AWG	m	30	0.40	12.00
Luz piloto	Unidad	2	4.80	9.60
Pulsadores NC, NO	Unidad	2	2.50	5.00
Paro de emergencia	Unidad	1	2.50	2.50
			<b>Total</b>	2573.24

**Fuente:** Investigador (Marco Pilamala).

## 6.8.2. COSTOS INDIRECTOS.

**Tabla 6.2:** Costos Indirectos.

SUMINISTROS				
Descripción	Unidad	Cantidad	P.U. (USD)	P.T. (USD)
Internet	Horas	20	0,8	16
Impresiones	Unidad	1000	0,1	100
CD	Unidad	3	0,5	1,5
Anillados	Unidad	6	1	6
Empastados	Unidad	3	20	60
			<b>Total</b>	183,5

**Fuente:** Investigador (Marco Pilamala).

### 6.8.3. COSTO DE LA MANO DE OBRA.

**Tabla 6.3:** Costos mano de obra.

<b>Definición</b>	<b>Hora</b>	<b>Costo(\$)/hora</b>	<b>Costo total(\$)</b>
Soldadura	1	15	15
Corte	5	10	50
Torneado	4	70	280
Pintura	3	20	60
		<b>TOTAL</b>	405

**Fuente:** Investigador (Marco Pilamala).

### 6.8.4. COSTO TOTAL DEL PROYECTO.

**Tabla 6.4:** Costos Total del Proyecto.

<b>Costos</b>	<b>Cantidad(\$)</b>
Directos	2573.24
Indirectos	183.50
Mano de obra	405
<b>TOTAL</b>	3161.64

**Fuente:** Investigador (Marco Pilamala).

El costo total de la investigación fue de \$3161.64, pero para el presente estudio la mano de obra fue realizada completamente por el autor.



#### **6.8.4. FINANCIAMIENTO.**

Para la construcción y culminación del presente proyecto el aporte económico fue cubierto el 100% por el investigador.

#### **6.9. PREVISIÓN DE LA INVESTIGACIÓN**

Con la finalización de este proyecto de investigación, se obtuvo resultados favorables de posicionamiento con los servomotores Mitsubishi en el robot cartesiano de tres ejes (x, y, z), lo que nos permitió adquirir destrezas y conocimientos de los equipos utilizados durante la ejecución del proyecto, se pudo lograr un buen desempeño del robot cartesiano, para lo cual se puede continuar con trabajos futuros en este mismo proyecto ya sea con la implementación de un sistema CNC con la generación de los códigos G, que nos permitan realizar trabajos de corte en esta máquina con los componentes adecuados para el cumplimiento de dicha función.

Con el cambio adecuado del sistema para la interfaz CNC se puede lograr dicho propósito, ya que el PLC implantado en este proyecto no es adecuado para la implementación y lectura de códigos G (lenguaje de programación para máquinas herramientas).

## **7. BIBLIOGRAFÍA.**

### **Libros.**

Mitsubishi Electric. (2010). Servo amplifiers and motors.

Alcalde, P. (2009). *Electrónica*. Madrid: Ediciones Paraninfo S.A.

Bakshi, U. (2009). *Electrocal Technology*. India: Technical Publications Pune.

Balcells, J. (2007). *Automatas programables*. Barcelona : Marcombo S.A.

Baturone , A. (2001). *Robótica manipuladores y robots móviles*. España: Marcombo S.A.

Craig, J. (2006). *Robótica*. Mexico: Prentice Hall.

Domingo Peña, J. (2003). *Introducción a los Automatas Programables*. Catalunya: Editorial UOC.

Donate , A. (2004). *Electrónica Digital Fundamental*. España: Marcombo S.A.

Groover, M. (1997). *Fundamentos de Manufactura Moderna*. México: Prentice Hall.

Maloney, T. (2006). *Electrónica Industrial Moderna*. Mexico: Pearson Educación.

Mott, R. (2006). *Diseño de Elementos de Máquinas*. México: Pearson Educación.

Nashelsky, L., & Boylestad, R. (2003). *Electronica: Teoría de circuitos y dispositivos electrónicos*. Mexico: PEARSON Prentice Hall.

Sanchis, E. (2002). *Sistemas Electrónicos Digitales*. Valencia: GUADA Litografía.

### **Internet.**

<http://spanish.touch-screen-hmi.com/sale-2033982-siemens-omron-plc-hmi-monitors-with-password-protection-64kb-flash-rom.html>.

<http://es.aliexpress.com/w/wholesale-phase-counter.html>.

<http://rammstein123.blogspot.com/2008/09/robot-cartesiano.html>

[http://wikifab.dimf.etsii.upm.es/wikifab/index.php/Usuario:1485\\_9126](http://wikifab.dimf.etsii.upm.es/wikifab/index.php/Usuario:1485_9126)

<http://meteoyelectronica.blogspot.com/2010/12/que-electronica-usar-para-control-de-la.html>

<http://www.emb.cl/electroindustria/articulo.mvc?xid=744&tip=7>

# ANEXOS

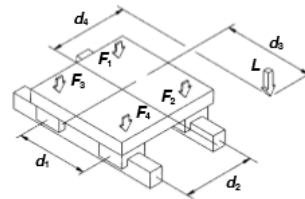
## ANEXO A. CUADROS PARA EL DISEÑO DEL ROBOT CARTESIANO.

### ANEXO 1: Fórmulas para el cálculo de fuerzas que actúan en los ejes X, Y, Z.

**Techno** Inc.

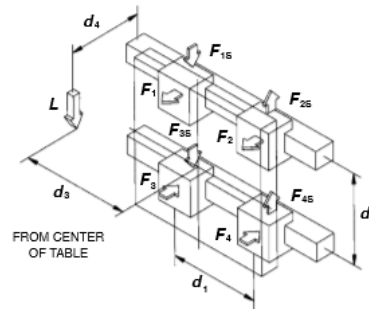
## Technical Information

$$\left. \begin{aligned} F_1 &= \frac{L}{4} - \frac{L}{2} \left( \frac{d_3}{d_1} + \frac{d_2}{d_2} \right) \\ F_2 &= \frac{L}{4} + \frac{L}{2} \left( \frac{d_3}{d_1} - \frac{d_2}{d_2} \right) \\ F_3 &= \frac{L}{4} - \frac{L}{2} \left( \frac{d_3}{d_1} - \frac{d_2}{d_2} \right) \\ F_4 &= \frac{L}{4} + \frac{L}{2} \left( \frac{d_3}{d_1} + \frac{d_2}{d_2} \right) \end{aligned} \right\} (7)$$



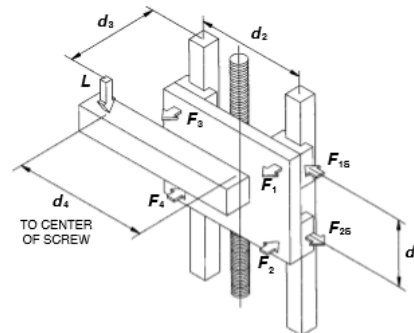
**Horizontal Translation with Side Load:** when a side load is applied to the bearing system, the loads on the individual bearings change, and new equations are required. Each bearing will have a resultant normal load as well as a side load. The orientation of the applied load with respect to the bearing system is the important feature to consider. This means that these equations can still be used even if the orientation of the translation is not horizontal, as long as the load to bearing relationship is preserved.

$$\left. \begin{aligned} F_1 &= F_2 = \frac{L}{2} \left( \frac{d_2}{d_2} \right) \\ F_3 &= F_4 = -\frac{L}{2} \left( \frac{d_2}{d_2} \right) \\ F_{1s} &= F_{3s} = \frac{L}{4} + \frac{L}{2} \left( \frac{d_3}{d_1} \right) \\ F_{2s} &= F_{4s} = \frac{L}{4} - \frac{L}{2} \left( \frac{d_3}{d_1} \right) \end{aligned} \right\} (8)$$



**Vertical Translation with Vertical Load:** when the load is applied in the direction of travel (thrust), then the following with respect to the bearing system is the important feature to consider. This means that these equations can still be used even if the orientation of the translation is not vertical, as long as the load to bearing relationship is preserved.

$$\left. \begin{aligned} F_1 &= F_3 = \frac{L}{2} \left( \frac{d_2}{d_1} \right) \\ F_2 &= F_4 = -\frac{L}{2} \left( \frac{d_2}{d_1} \right) \\ F_{1s} &= F_{3s} = \frac{L}{2} \left( \frac{d_1}{d_2} \right) \\ F_{2s} &= F_{4s} = -\frac{L}{2} \left( \frac{d_1}{d_2} \right) \end{aligned} \right\} (9)$$



## ANEXO 2: Propiedades del acero 1018.

**Table A-20**

Deterministic ASTM Minimum Tensile and Yield Strengths for Some Hot-Rolled (HR) and Cold-Drawn (CD) Steels [The strengths listed are estimated ASTM minimum values in the size range 18 to 32 mm ( $\frac{3}{4}$  to  $1\frac{1}{4}$  in). These strengths are suitable for use with the design factor defined in Sec. 1-10, provided the materials conform to ASTM A6 or A568 requirements or are required in the purchase specifications. Remember that a numbering system is not a specification.] Source: 1986 SAE Handbook, p. 2.15.

1	2	3	4	5	6	7	8
UNS No.	SAE and/or AISI No.	Processing	Tensile Strength, MPa (kpsi)	Yield Strength, MPa (kpsi)	Elongation in 2 in, %	Reduction in Area, %	Brinell Hardness
G10060	1006	HR	300 (43)	170 (24)	30	55	86
		CD	330 (48)	280 (41)	20	45	95
G10100	1010	HR	320 (47)	180 (26)	28	50	95
		CD	370 (53)	300 (44)	20	40	105
G10150	1015	HR	340 (50)	190 (27.5)	28	50	101
		CD	390 (56)	320 (47)	18	40	111
G10180	1018	HR	400 (58)	220 (32)	25	50	116
		CD	440 (64)	370 (54)	15	40	126
G10200	1020	HR	380 (55)	210 (30)	25	50	111
		CD	470 (68)	390 (57)	15	40	131
G10300	1030	HR	470 (68)	260 (37.5)	20	42	137
		CD	520 (76)	440 (64)	12	35	149
G10350	1035	HR	500 (72)	270 (39.5)	18	40	143
		CD	550 (80)	460 (67)	12	35	163
G10400	1040	HR	520 (76)	290 (42)	18	40	149
		CD	590 (85)	490 (71)	12	35	170
G10450	1045	HR	570 (82)	310 (45)	16	40	163
		CD	630 (91)	530 (77)	12	35	179
G10500	1050	HR	620 (90)	340 (49.5)	15	35	179
		CD	690 (100)	580 (84)	10	30	197
G10600	1060	HR	680 (98)	370 (54)	12	30	201
G10800	1080	HR	770 (112)	420 (61.5)	10	25	229
G10950	1095	HR	830 (120)	460 (66)	10	25	248

## ANEXO 3: Factor de seguridad estático.

Tabla 10

Tipo de funcionamiento	Valores orientativos para el factor de seguridad estático $s_0$							
	Rodamientos rotativos				Rodamientos estacionarios			
	Requisitos en cuanto a funcionamiento silencioso no importante		normal		silencioso		alto	
	Rodtos. bolas	Rodtos. rodillos	Rodtos. bolas	Rodtos. rodillos	Rodtos. bolas	Rodtos. rodillos	Rodtos. bolas	Rodtos. rodillos
Suave, sin vibraciones	0,5	1	1	1,5	2	3	0,4	0,8
Normal	0,5	1	1	1,5	2	3,5	0,5	1
Cargas de choque notables <sup>1)</sup>	$\geq 1,5$	$\geq 2,5$	$\geq 1,5$	$\geq 3$	$\geq 2$	$\geq 4$	$\geq 1$	$\geq 2$

Para los rodamientos axiales de rodillos a rótula es aconsejable utilizar  $s_0 \geq 4$

<sup>1)</sup> Cuando se desconoce la magnitud de la carga de choque, deben usarse valores de  $s_0$  por lo menos iguales a los arriba indicados. Si las magnitudes de las cargas de choque son exactamente conocidas, se pueden aplicar valores de  $s_0$  menores

## ANEXO 4: Factor $a_1$ Ajuste de vida.

<sup>1)</sup> El factor  $n$  representa la probabilidad de fallo, es decir, la diferencia entre la fiabilidad requerida y el 100 %

**Tabla 1**

Valores para el factor de ajuste de la vida $a_1$			
Fiabilidad %	Probabilidad de fallo $n$ %	Vida nominal SKF $L_{nm}$	Factor $a_1$
90	10	$L_{10m}$	1
95	5	$L_{5m}$	0,62
96	4	$L_{4m}$	0,53
97	3	$L_{3m}$	0,44
98	2	$L_{2m}$	0,33
99	1	$L_{1m}$	0,21

**SKF**

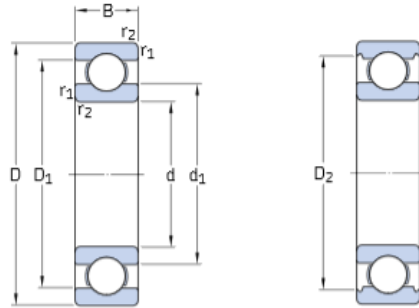
## ANEXO 5: Horas de trabajo.

**Tabla 8**

Valores orientativos de vida nominal requeridos para diferentes clases de máquinas	
Clase de máquinas	Vida nominal Horas de funcionamiento
Electrodomésticos, máquinas agrícolas, instrumentos, equipos técnicos de uso médico	300 ... 3 000
Máquinas usadas intermitentemente o por cortos períodos: herramientas eléctricas portátiles, aparatos elevadores en talleres, máquinas y equipos para la construcción	3 000 ... 8 000
Máquinas para trabajar con alta fiabilidad de funcionamiento por cortos períodos o intermitentemente: ascensores (elevadores), grúas para mercancías embaladas o eslingas de tambores, etc.	8 000 ... 12 000
Máquinas para 8 horas de trabajo diario, no siempre totalmente utilizadas: transmisiones por engranajes para uso general, motores eléctricos de uso industrial, machacadoras rotativas	10 000 ... 25 000
Máquinas para 8 horas de trabajo diario totalmente utilizadas: máquinas herramientas, máquinas para trabajar la madera, máquinas para la industria de ingeniería, grúas para materiales a granel, ventiladores, cintas transportadoras, equipos para imprentas, separadores y centrifugas	20 000 ... 30 000
Máquinas para trabajo continuo, 24 horas al día: cajas de engranajes para laminadores, maquinaria eléctrica de tamaño medio, compresores, tornos de extracción para minas, bombas, maquinaria textil	40 000 ... 50 000
Máquinas para la industria de energía eólica, esto incluye el eje principal, la orientación, los engranajes, los rodamientos del generador	30 000 ... 100 000
Maquinaria para el abastecimiento de agua, hornos giratorios, máquinas cableadoras, maquinaria de propulsión para transatlánticos	60 000 ... 100 000
Maquinaria eléctrica de gran tamaño, centrales eléctricas, bombas y ventiladores para minas, rodamientos para la línea de ejes de transatlánticos	> 100 000

## ANEXO 6: Selección del rodamiento.

### Rodamientos rígidos de una hilera de bolas d 12 – 22 mm



Dimensiones principales			Capacidad de carga básica		Carga límite de fatiga $P_u$	Velocidades		Masa	Designación
d	D	B	dinámica C	estática $C_0$		Velocidad de referencia	Velocidad límite		
mm			kN		kN	rpm		kg	-
<b>12</b>	21	5	1,43	0,67	0,028	70 000	43 000	0,0063	<b>61801</b>
	24	6	2,25	0,98	0,043	67 000	40 000	0,011	<b>61901</b>
	28	8	5,4	2,36	0,10	60 000	38 000	0,022	* <b>6001</b>
	30	8	5,07	2,36	0,10	56 000	34 000	0,023	<b>16101</b>
	32	10	7,28	3,1	0,132	50 000	32 000	0,037	* <b>6201</b>
	37	12	10,1	4,15	0,176	45 000	28 000	0,060	* <b>6301</b>
<b>15</b>	24	5	1,56	0,8	0,034	60 000	38 000	0,0074	<b>61802</b>
	28	7	4,36	2,24	0,095	56 000	34 000	0,016	<b>61902</b>
	32	8	5,85	2,85	0,12	50 000	32 000	0,025	* <b>16002</b>
	32	9	5,85	2,85	0,12	50 000	32 000	0,030	* <b>6002</b>
	35	11	8,06	3,75	0,16	43 000	28 000	0,045	* <b>6202</b>
	42	13	11,9	5,4	0,228	38 000	24 000	0,082	* <b>6302</b>
<b>17</b>	26	5	1,68	0,93	0,039	56 000	34 000	0,0082	<b>61803</b>
	30	7	4,62	2,55	0,108	50 000	32 000	0,018	<b>61903</b>
	35	8	6,37	3,25	0,137	45 000	28 000	0,032	* <b>16003</b>
	35	10	6,27	3,25	0,127	45 000	28 000	0,030	* <b>6003</b>





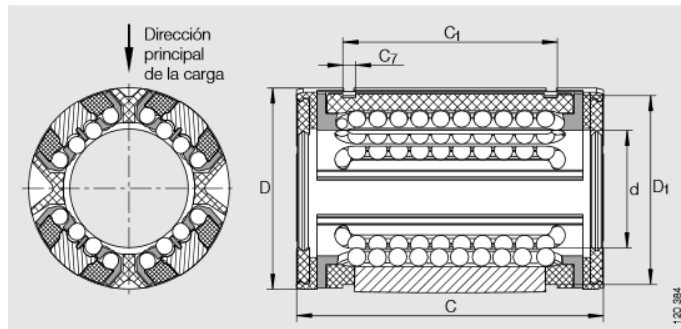
## ANEXO 8: Rodamientos Lineales

### Rodamientos lineales a bolas autoalineables

#### Serie ligera

Cerrados y abiertos, con obturaciones por paso estrecho o rozantes, en ambos lados

Series KS  
KS..PP  
KSO  
KSO..PP



KS, KS..PP

Tabla de medidas · Medidas en mm

Diámetro del eje	Series				Peso	Medidas			Medidas de montaje	
	KS <sup>1)</sup>	KS..PP <sup>2)</sup>	KSO <sup>1)</sup>	KSO..PP <sup>2)</sup>		d	D	C	A <sub>G</sub> <sup>3)</sup>	C <sub>1</sub>
20	Referencia	Referencia	Referencia	Referencia	≈kg	20	32	45	-	H13
	<b>KS 20</b>	<b>KS 20 PP</b>	-	-						
25	-	-	<b>KSO 20</b>	<b>KSO 20 PP</b>	0,038	20	32	45	10	-
	<b>KS 25</b>	<b>KS 25 PP</b>	-	-	0,102	25	40	58	-	43,7
30	-	-	<b>KSO 25</b>	<b>KSO 25 PP</b>	0,075	25	40	58	12,5	-
	<b>KS 30</b>	<b>KS 30 PP</b>	-	-	0,172	30	47	68	-	51,7
40	-	-	<b>KSO 30</b>	<b>KSO 30 PP</b>	0,135	30	47	68	14,3	-
	<b>KS 40</b>	<b>KS 40 PP</b>	-	-	0,335	40	62	80	-	60,3
50	-	-	<b>KSO 40</b>	<b>KSO 40 PP</b>	0,259	40	62	80	18,2	-
	<b>KS 50</b>	<b>KS 50 PP</b>	-	-	0,589	50	75	100	-	77,3
	-	-	<b>KSO 50</b>	<b>KSO 50 PP</b>	0,454	50	75	100	22,7	-

<sup>1)</sup> Obturación por paso estrecho en ambos lados.

<sup>2)</sup> Obturación rozante en ambos lados.

<sup>3)</sup> Medida A<sub>G</sub> en el diámetro d.

<sup>4)</sup> Posición del agujero, simétrica respecto al ancho C del rodamiento.

<sup>5)</sup> Las capacidades de carga son válidas sólo para ejes templados (670 + 170 HV) y rectificadas. Capacidades de carga según DIN 636-1.

<sup>6)</sup> Capacidades de carga en la dirección principal de la carga.

## ANEXO 9: Contactores.

### Contadores 3 Pole / Frame Size 22AF



**Hittech Corp.**



includes UA-1-11  
Auxiliary switch,  
(1NO/1NC)

Additional Auxiliaries  
and other accessories  
see page 11-13

22AF

Type	MC-9B	MC-12B	MC-18B	MC-22B
Number of Poles	3	3	3	3
NEMA Size	00	00	0	1
Standard Auxiliaries	1NO/1NC	1NO/1NC	1NO/1NC	1NO/1NC

Coil Voltage	Frequency	Part. No.	Part. No.	Part. No.	Part. No.	
<b>AC Coil</b>	24V	60/60 Hz	MC-9B-AC24V	MC-12B-AC24V	MC-18B-AC24V	MC-22B-AC24V
	120V	50/60 Hz	MC-9B-AC120V	MC-12B-AC120V	MC-18B-AC120V	MC-22B-AC120V
	208V	60 Hz	MC-9B-AC208V	MC-12B-AC208V	MC-18B-AC208V	MC-22B-AC208V
	230V	50/60 Hz	MC-9B-AC230V	MC-12B-AC230V	MC-18B-AC230V	MC-22B-AC230V
	480V	60 Hz	MC-9B-AC480V	MC-12B-AC480V	MC-18B-AC480V	MC-22B-AC480V

**Other AC Coil Voltages Available:**

60 Hz: 277V, 600V

50/ 60Hz: 48V, 100V, 110V, 200V, 220V, 240V, 380V, 415V, 440V, 500V, 550V

DC Coil	Coil Voltage	Frequency	Part. No.	Part. No.	Part. No.	Part. No.
<b>DC Coil</b>	12V	—	MC-9B-DC12V	MC-12B-DC12V	MC-18B-DC12V	MC-22B-DC12V
	24V	—	MC-9B-DC24V	MC-12B-DC24V	MC-18B-DC24V	MC-22B-DC24V

**Other DC Coil Voltages Available:**

20V, 48V, 60V, 80V, 100V, 110V, 125V, 200V, 220V, 250V

3 Pole

## ANEXO 10: Fusibles.



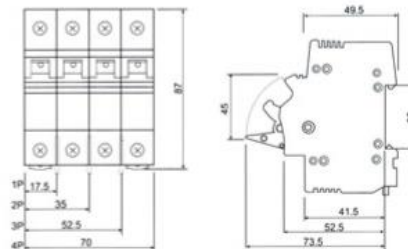
### SPECIFICATIONS

- Item No.: RT18-32A
- Rated voltage: 500v AC
- Rated current: 32A
- Connected with fuse: RT14-20 (φ 10 X 38)
- Mounting methods: By din rail (35 mm)

### FUSE

- Item No.: RT14-20
- Rated voltage: 500v AC
- Rated current: 2A, 4A, 6A, 8A, 10A, 16A, 20A, 25A, 32A
- Dimensions: φ 10 X 38

### DIMENSIONS



## ANEXO B. FOTOGRAFÍAS DE CONSTRUCCIÓN.

Construcción de la base del robot cartesiano.



Construcción del carro x.



Construcción de las chumaceras para los rodamientos lineales.



Ensamblaje de rodamientos lineales con los ejes.



Ensamblaje del robot cartesiano.



Ensamblaje de husillos a bolas.



Pintado y ensamblaje final del robot cartesiano.



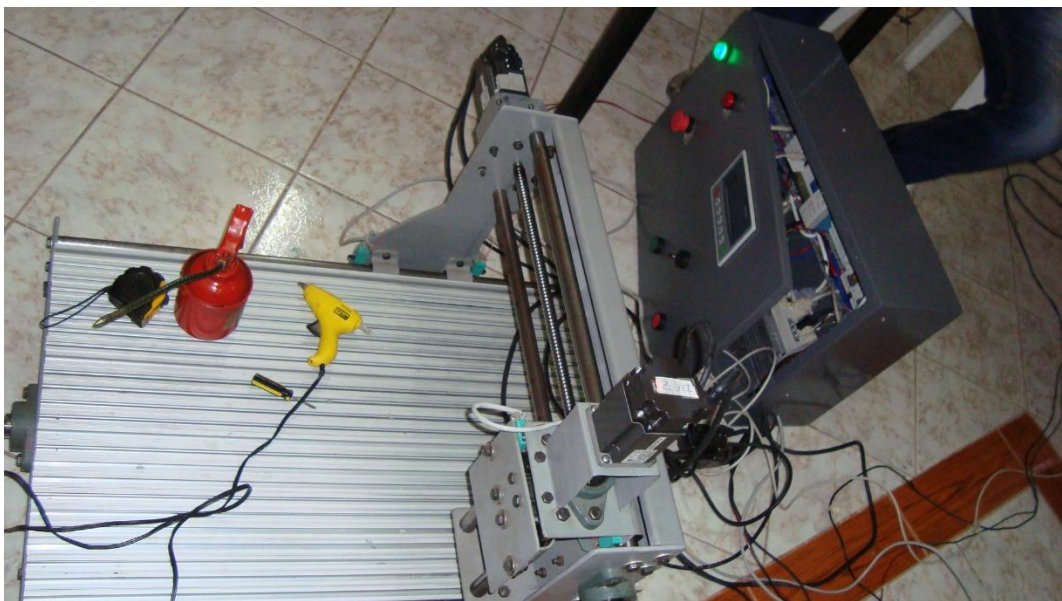
Instalación de los servomotores.



Armado y conexiones de la caja de control.

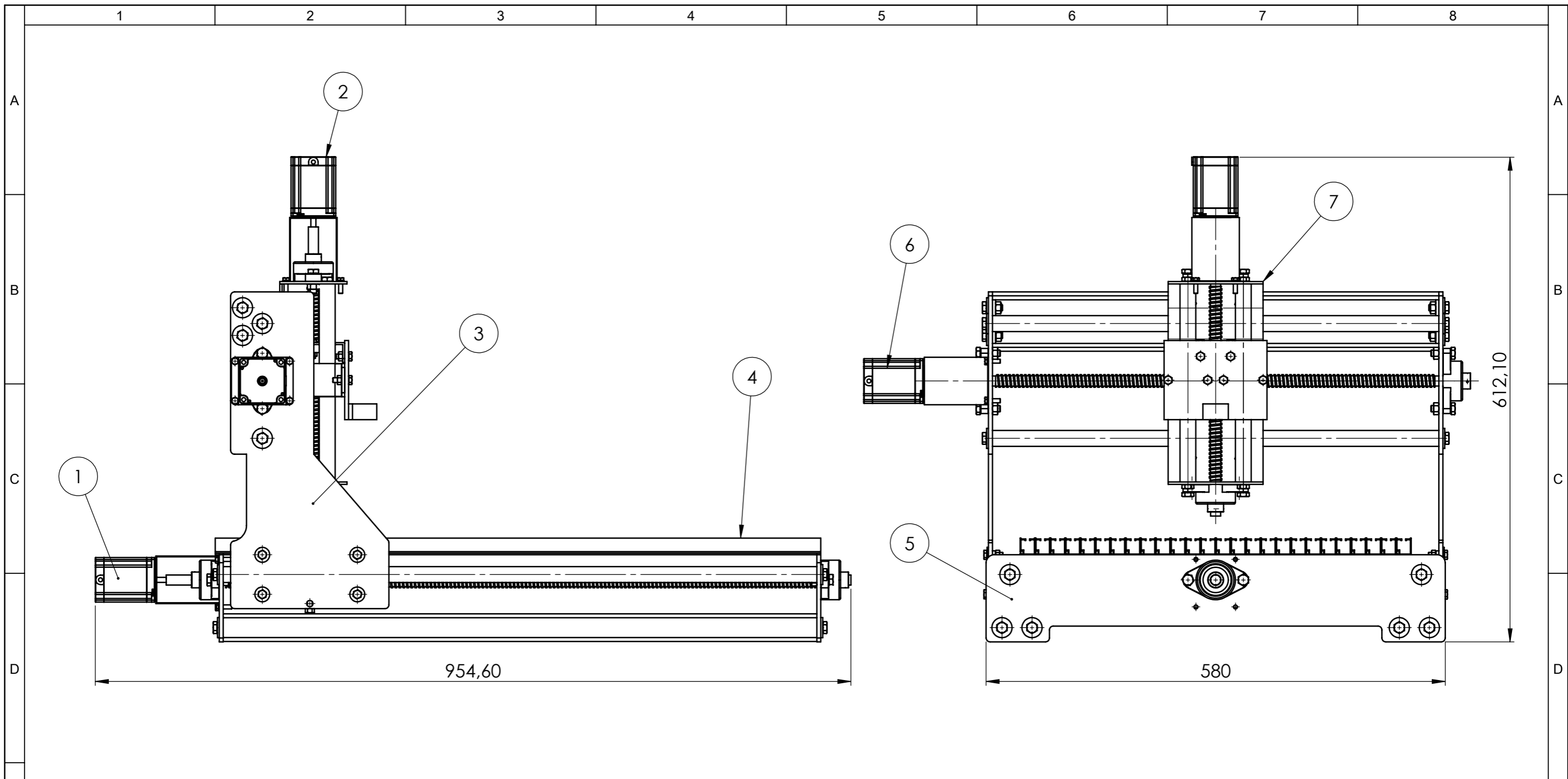


Robot cartesiano.



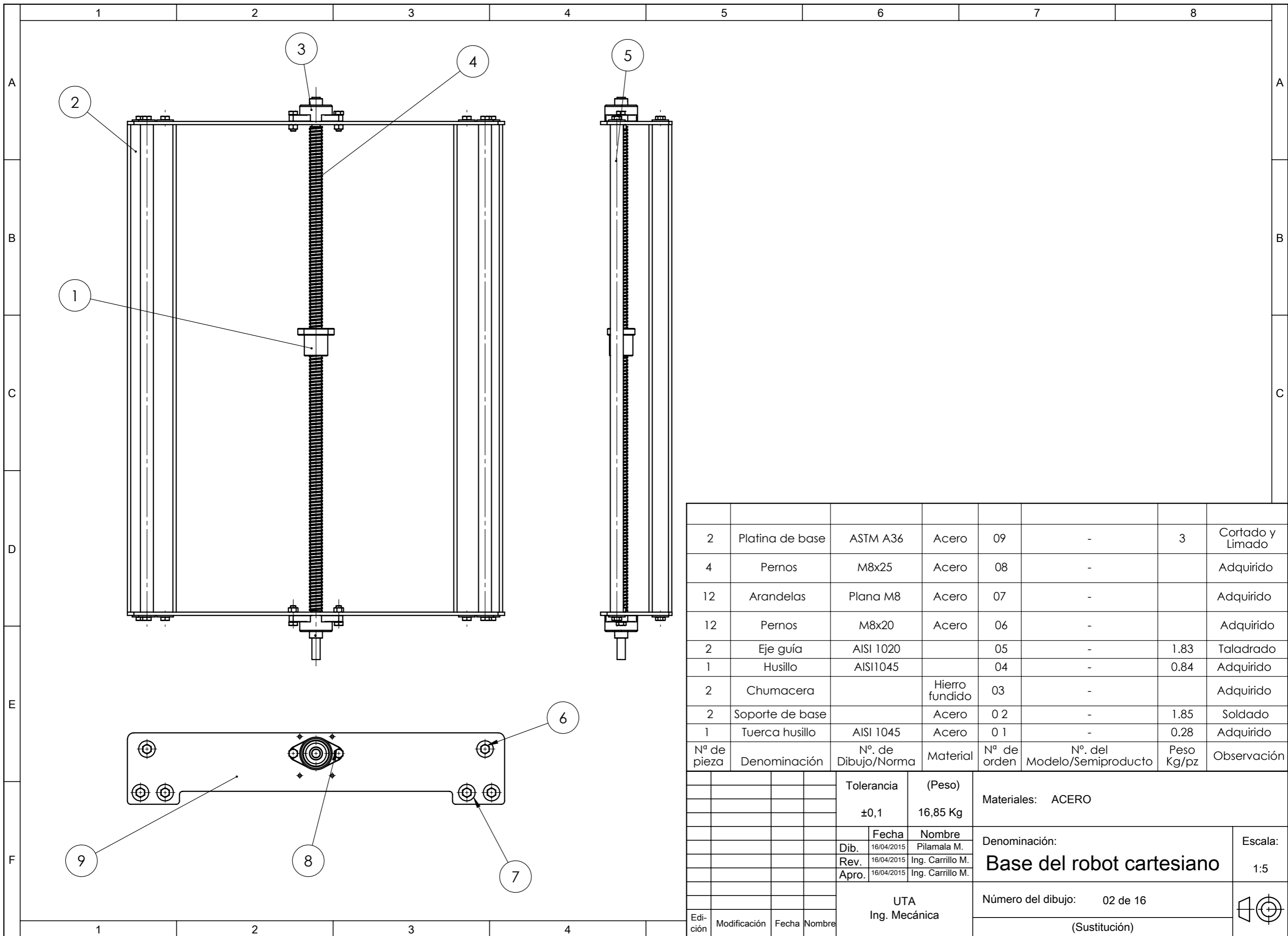
# PLANOS



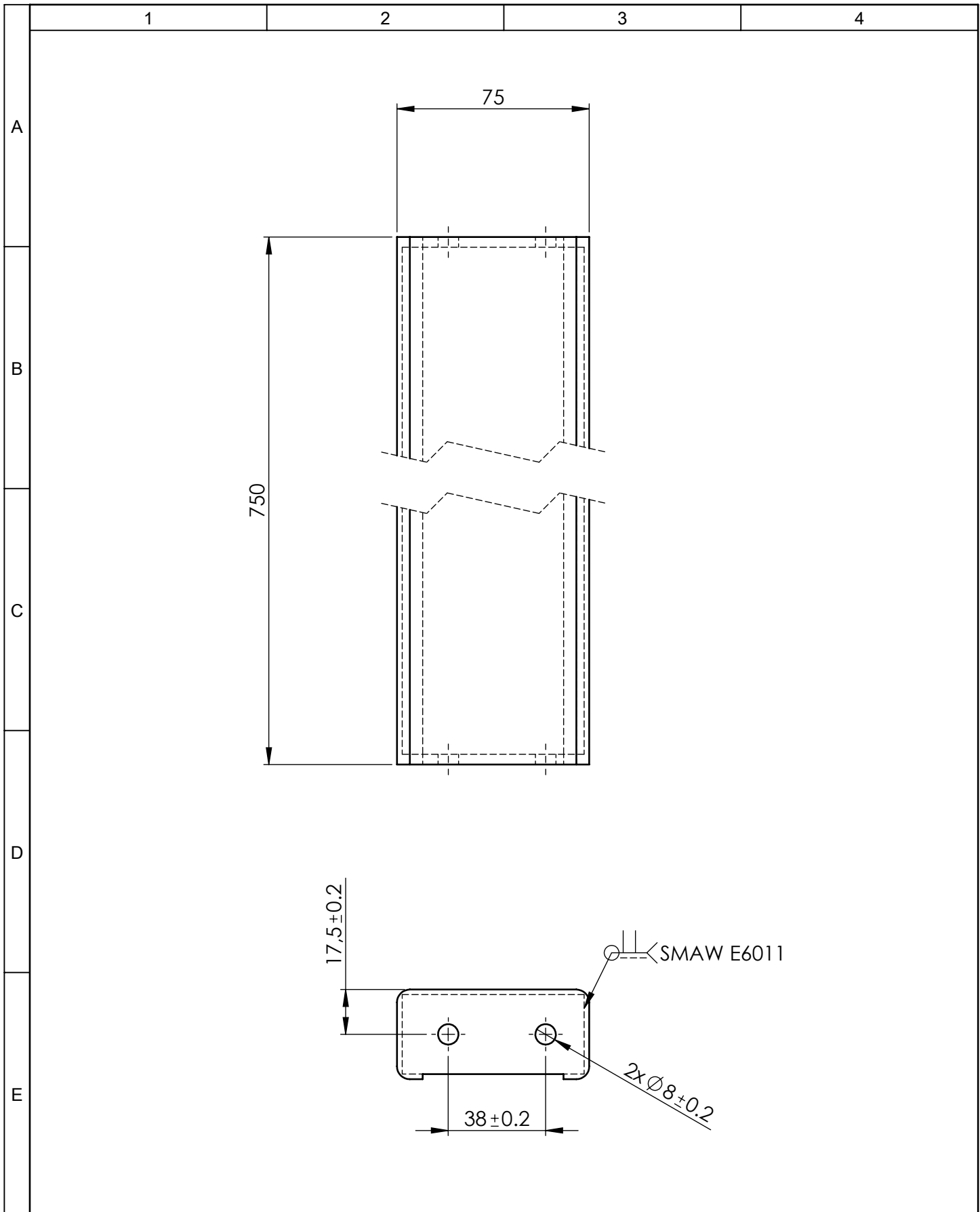


1	Servomotor Y			07	-	2.1	Adquirido
1	Eslabón Y y Z	ASTM A36	Acero	06	-	6.78	Construido
1	Base del Robot	ASTM A36	Acero	05	-	16.85	Construido
1	Mesa		Aluminio	04	-	4.2	Construido
1	Eslabón X	ASTM A36	Acero	03	-	12.41	Construido
1	Servomotor Z	-	-	02	-	2.1	Adquirido
1	Servomotor X	-	-	01	-	2.8	Adquirido
Nº. de pieza	Denominación	Nº. de Dibujo/Norma	Material	Nº. de Orden	Nº. del Modelo/Semiproducto	Peso Kg/pz	Obsevaciones

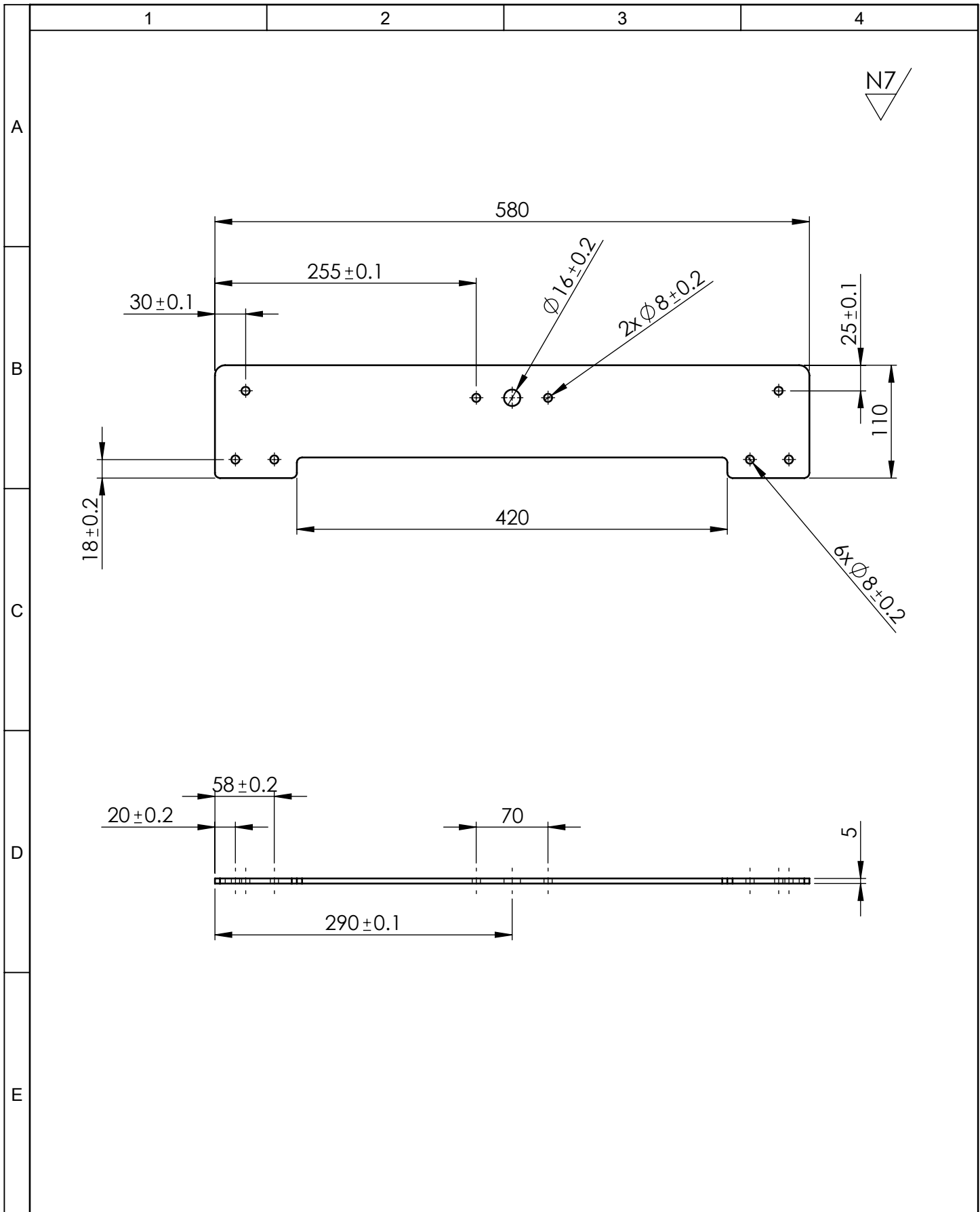
		Tolerancia		(Peso)		Materiales: ACERO	
		±0,5		36.04 Kg			
		Fecha		Nombre		Denominación: <b>Robot Cartesiano</b>	
		Dib. 16/04/2015		Pilamala M.			
		Rev. 16/04/2015		Ing. Carrillo M.			
		Apro. 16/04/2015		Ing. Carrillo M.		Escala: 1:10	
		UTA		Número del dibujo:		01 de 16	
		Ing. Mecánica		(Sustitución)			
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				



Nº de pieza	Denominación	Nº. de Dibujo/Norma	Material	Nº de orden	Nº. del Modelo/Semiproducto	Peso Kg/pz	Observación
2	Platina de base	ASTM A36	Acero	09	-	3	Cortado y Limado
4	Pernos	M8x25	Acero	08	-		Adquirido
12	Arandelas	Plana M8	Acero	07	-		Adquirido
12	Pernos	M8x20	Acero	06	-		Adquirido
2	Eje guía	AISI 1020		05	-	1.83	Taladrado
1	Husillo	AISI1045		04	-	0.84	Adquirido
2	Chumacera		Hierro fundido	03	-		Adquirido
2	Soporte de base		Acero	02	-	1.85	Soldado
1	Tuerca husillo	AISI 1045	Acero	01	-	0.28	Adquirido
				Tolerancia		(Peso)	Materiales: ACERO
				±0,1		16,85 Kg	
				Fecha	Nombre	Denominación: <b>Base del robot cartesiano</b>	
				Dib. 16/04/2015	Pilamala M.		
				Rev. 16/04/2015	Ing. Carrillo M.		
				Apr. 16/04/2015	Ing. Carrillo M.	Escala: 1:5	
				UTA Ing. Mecánica			
				Número del dibujo: 02 de 16			
				(Sustitución)			
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				



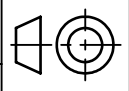
				Tolerancia	(Peso)	Materiales: ACERO ASTM A36	
				±0,5	1,85 Kg		
				Fecha	Nombre	Denominación: <b>SOPORTE DE BASE</b>	Escala: 1:2
			Dib.	16/04/2015	Pilamala M.		
			Rev.	16/04/2015	Ing. Carrillo M.		
				Apro.	16/04/2015	Ing. Carrillo M.	
				UTA Ing. Mecánica		Número del dibujo: 03 de 16	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)	

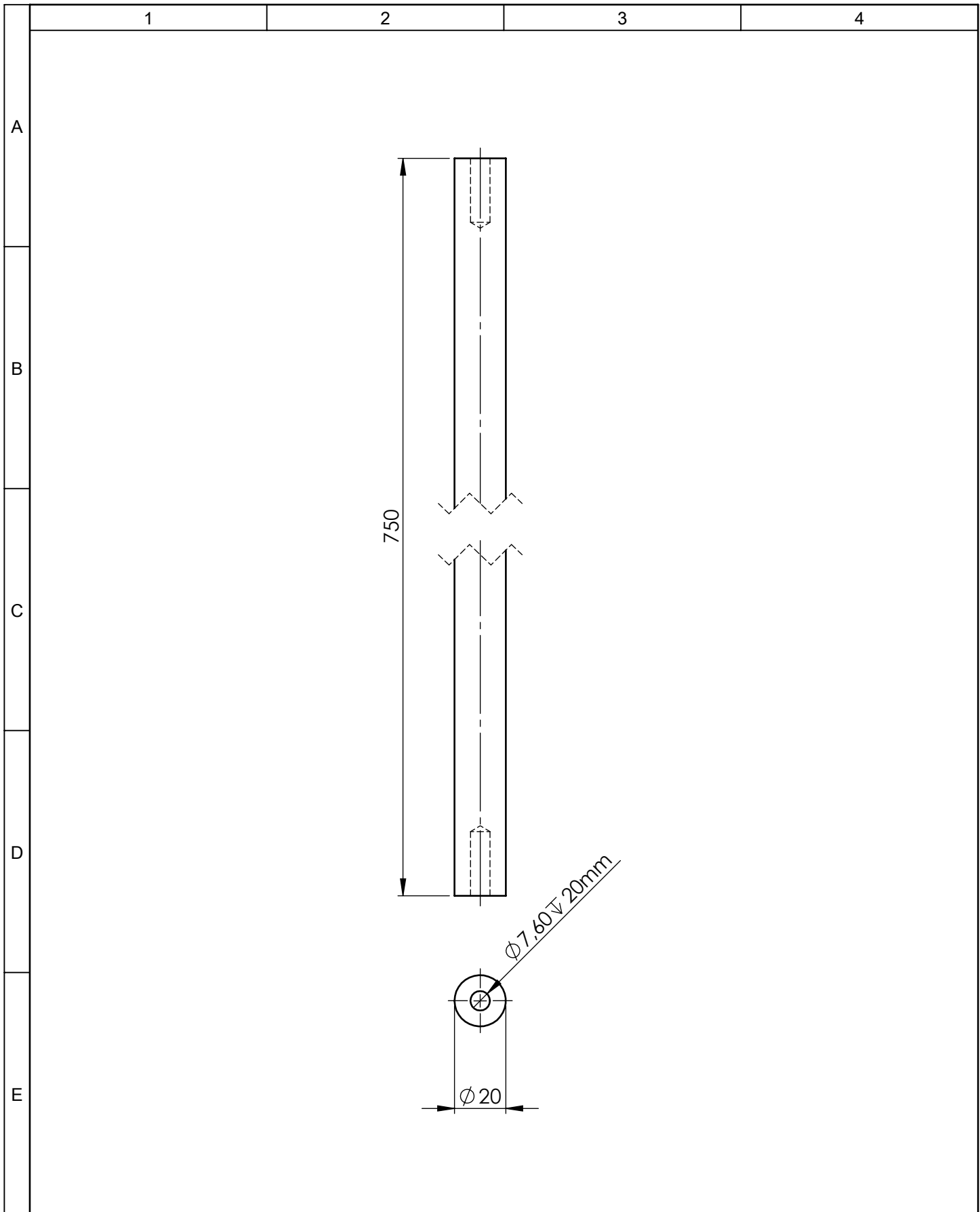


N7

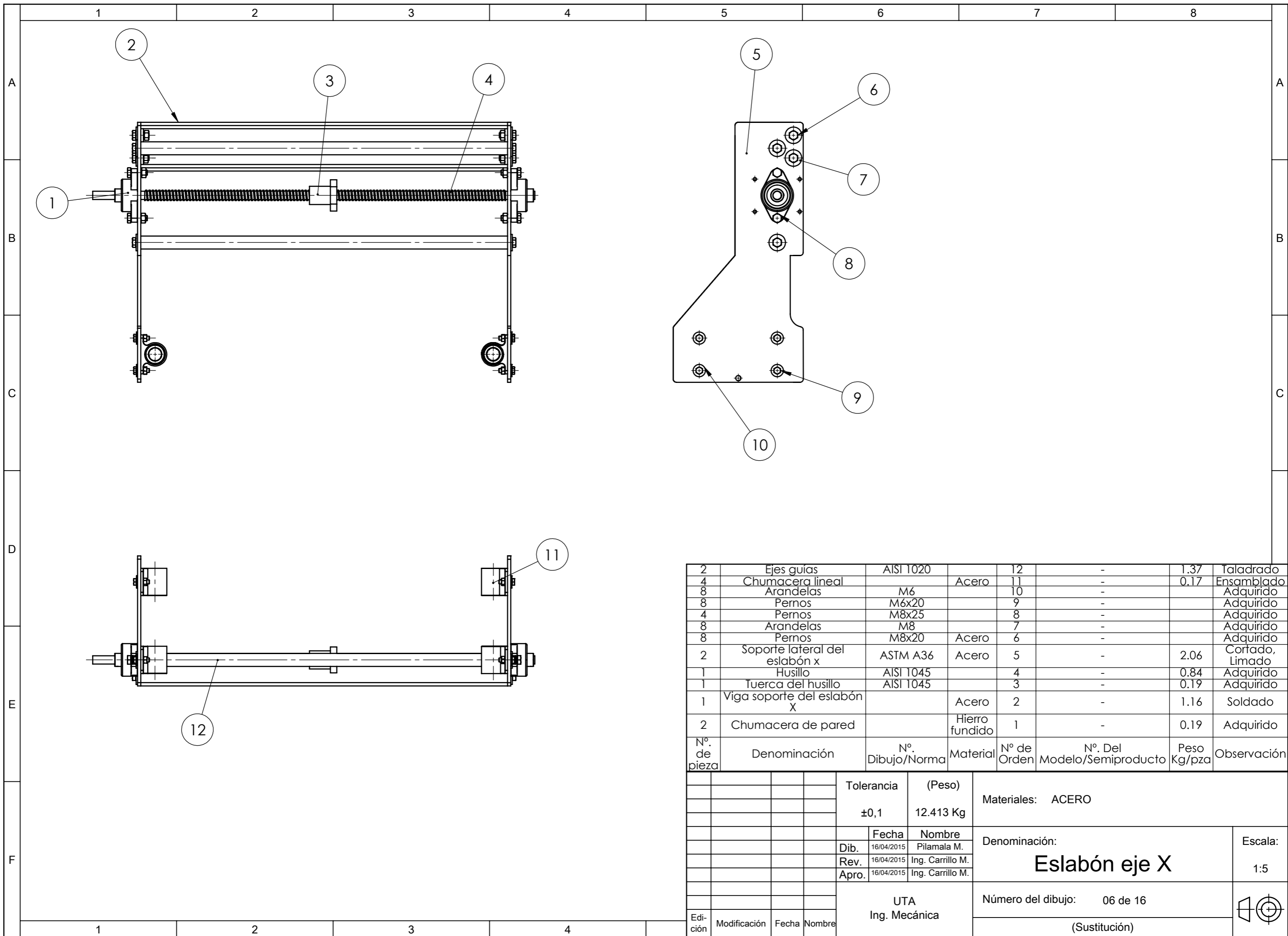
				Tolerancia	(Peso)	Materiales: ACERO ASTM A36	
				$\pm 0,5$	3 Kg		
				Fecha	Nombre	Denominación:	Escala:
			Dib.	16/04/2015	Pilamala		
			Rev.	16/04/2015	Ing. Carrillo		
				Apro.	16/04/2015	Ing. Carrillo	1:5
				UTA		Número del dibujo: 04 de 16	
				Ing. Mecánica			
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)	

**Platina lateral de la mesa**



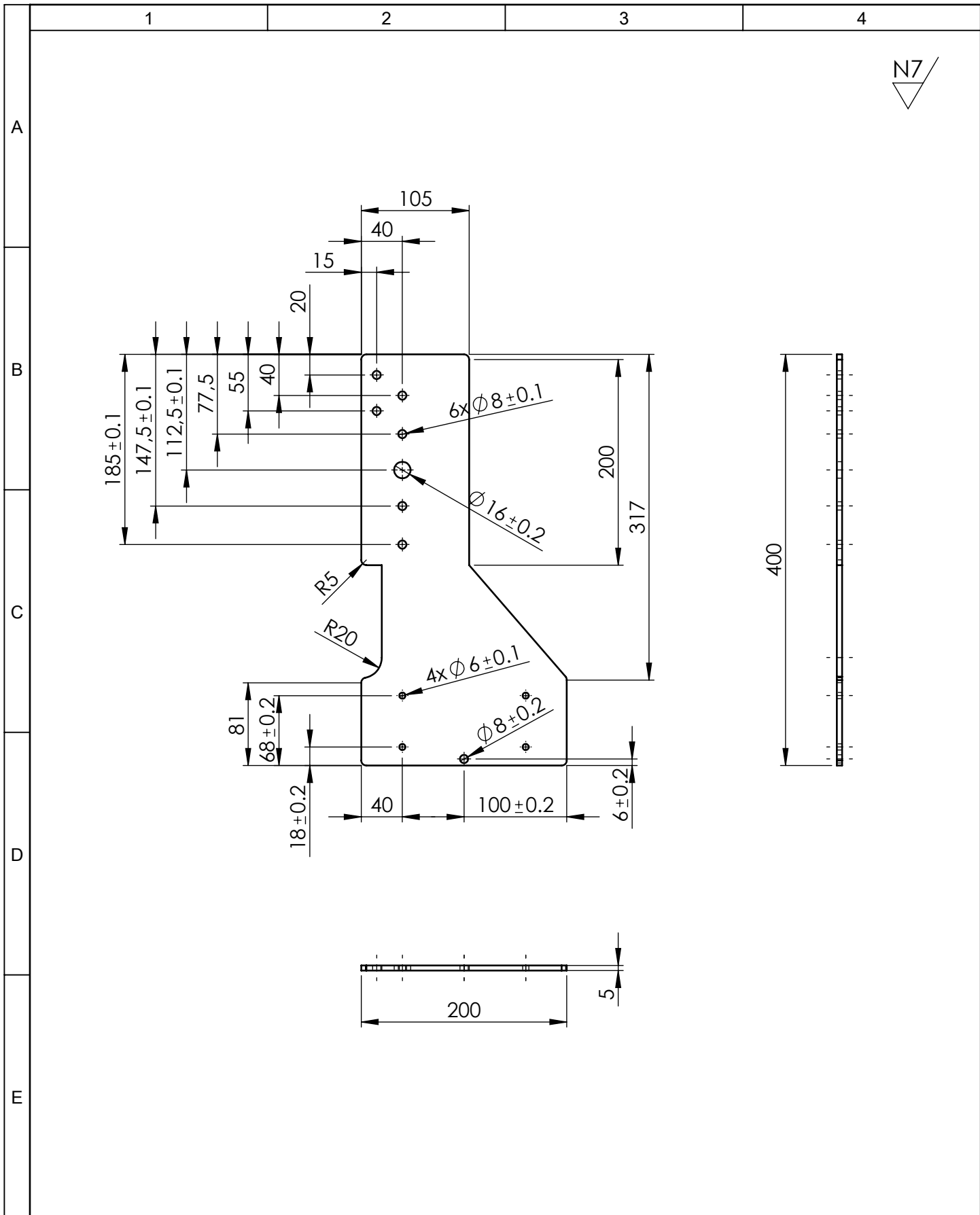


				Tolerancia	(Peso)	Materiales: Acero AISI 1018	
				±0,1	1.8Kg		
				Fecha	Nombre	Denominación: <b>Guía eje X</b>	Escala: 1:2
			Dib.	16/04/2015	Pilamala M.		
			Rev.	16/04/2015	Ing. Carrillo M.		
				Apro.	16/04/2015	Ing. Carrillo M.	
				UTA Ing. Mecánica		Número del dibujo: 05 de 16	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)	



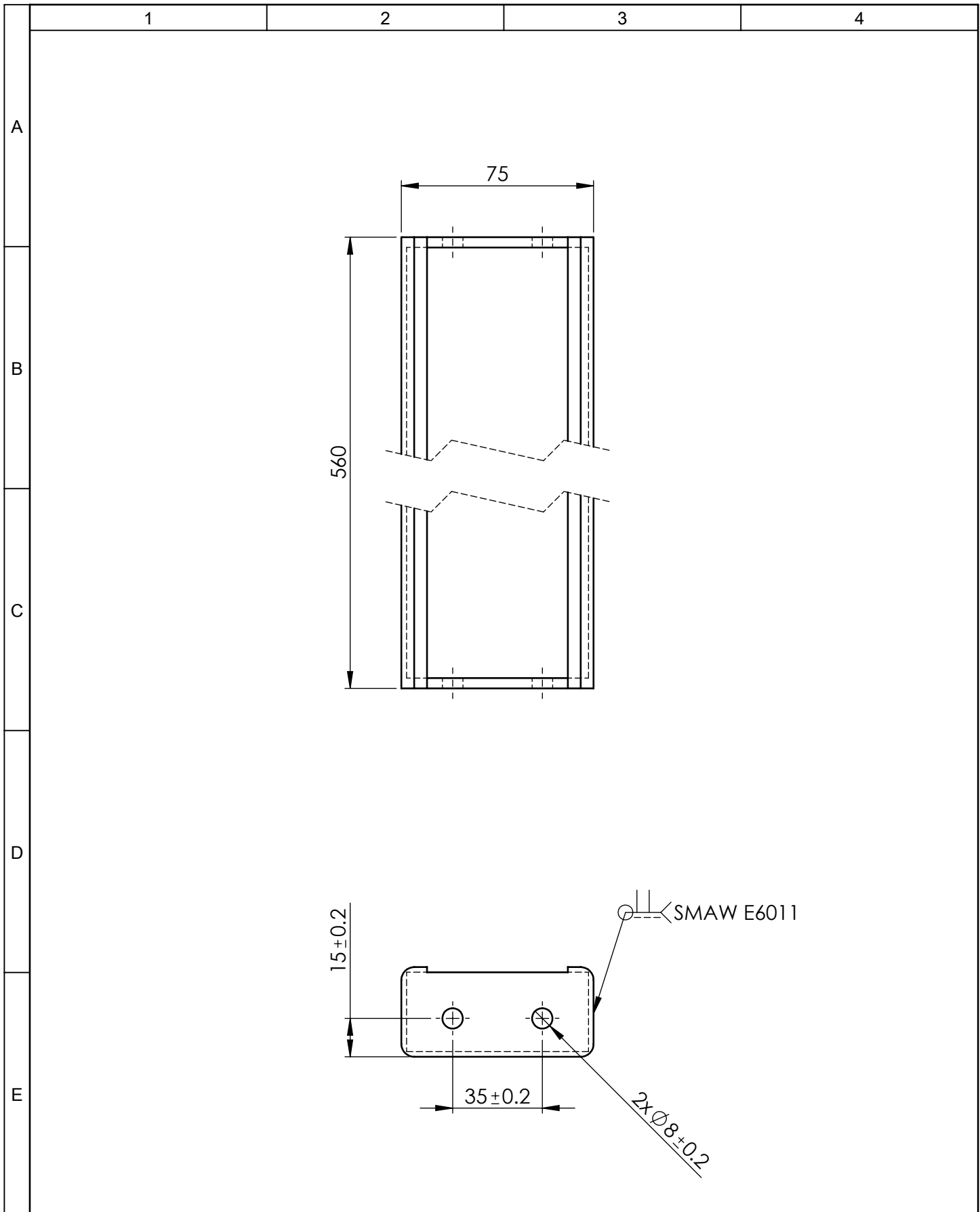
2	Ejes guías	AISI 1020		12	-	1.37	Taladrado
4	Chumacera lineal		Acero	11	-	0.17	Ensamblado
8	Arandelas	M6		10	-		Adquirido
8	Pernos	M6x20		9	-		Adquirido
4	Pernos	M8x25		8	-		Adquirido
8	Arandelas	M8		7	-		Adquirido
8	Pernos	M8x20	Acero	6	-		Adquirido
2	Soporte lateral del eslabón x	ASTM A36	Acero	5	-	2.06	Cortado, Limado
1	Husillo	AISI 1045		4	-	0.84	Adquirido
1	Tuerca del husillo	AISI 1045		3	-	0.19	Adquirido
1	Viga soporte del eslabón X		Acero	2	-	1.16	Soldado
2	Chumacera de pared		Hierro fundido	1	-	0.19	Adquirido
Nº. de pieza	Denominación	Nº. Dibujo/Norma	Material	Nº de Orden	Nº. Del Modelo/Semiproducto	Peso Kg/pza	Observación

Tolerancia		(Peso)		Materiales: ACERO			
±0,1		12.413 Kg					
Fecha		Nombre		Denominación:			Escala:
Dib.	16/04/2015	Pilamala M.					
Rev.	16/04/2015	Ing. Carrillo M.					
Apro.		16/04/2015		Ing. Carrillo M.			1:5
UTA				Número del dibujo: 06 de 16			
Ing. Mecánica				(Sustitución)			
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				



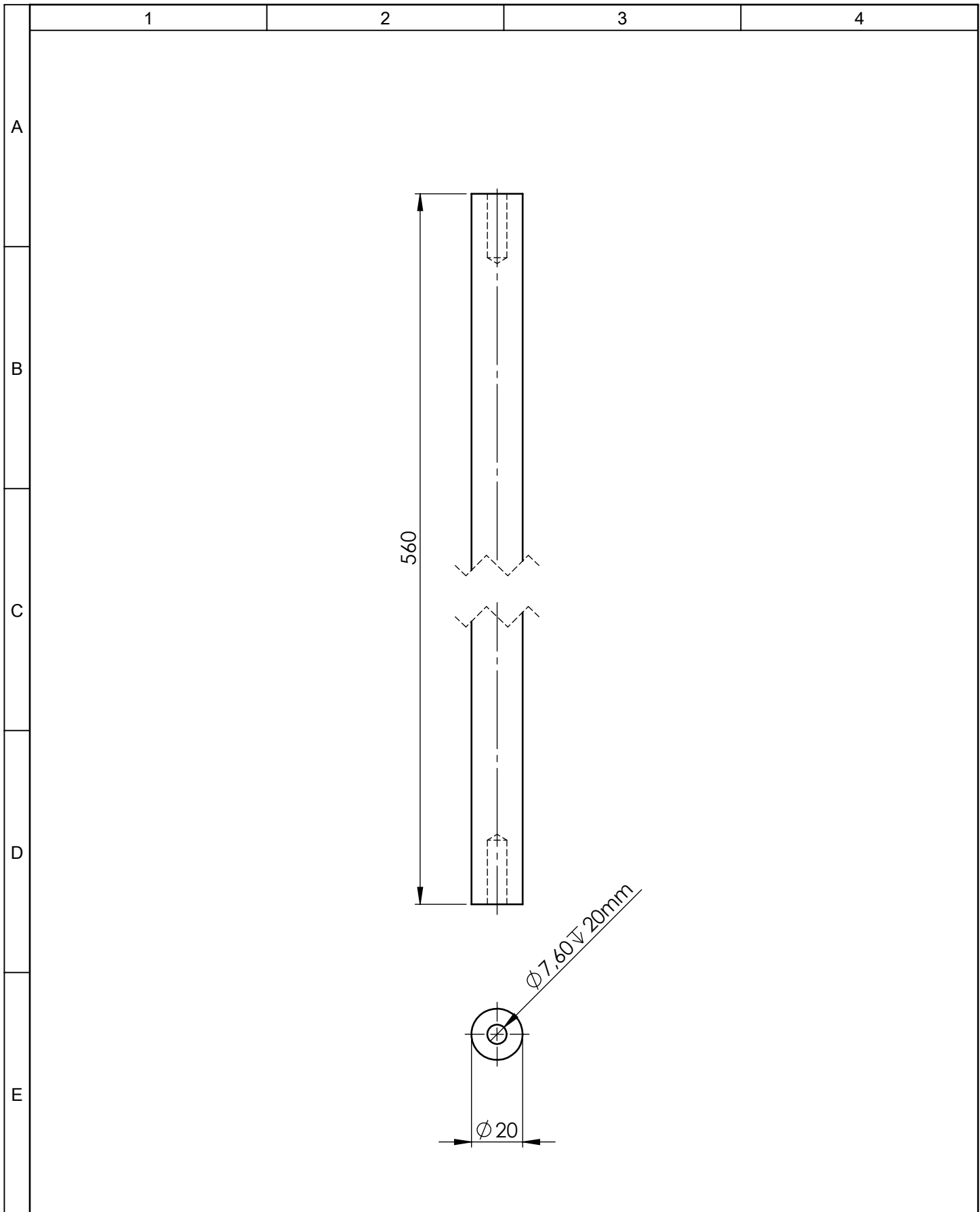
N7

				Tolerancia	(Peso)	Materiales: ACERO ASTM A36	
				±0,5	2,06 Kg		
				Fecha	Nombre	Denominación: <b>Platina lateral eslabón X</b>	Escala: 1:5
			Dib.	16/04/2015	Pilamala M.		
			Rev.	16/04/2015	Ing. Carrillo M.		
			Apro.	16/04/2015	Ing. Carrillo M.		
				UTA Ing. Mecánica		Número del dibujo: 07 de 16	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)	

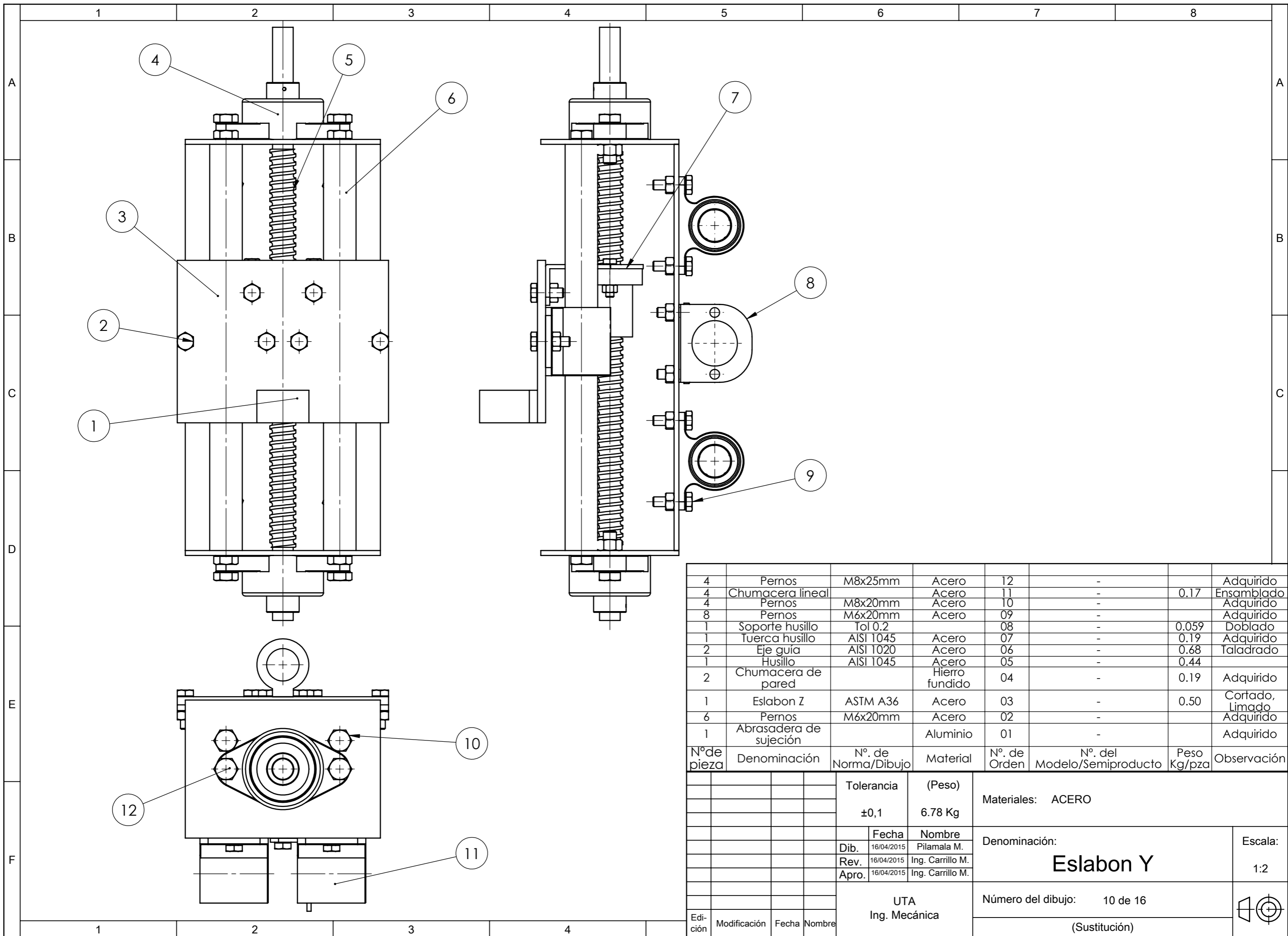


				Tolerancia	(Peso)	Materiales: ACERO ASTM A36	
				±0,5	1,42 Kg		
				Fecha	Nombre	Denominación: <b>Viga soporte del Eslabón X</b>	Escala: 1:2
			Dib.	16/04/2015	Pilamala M.		
			Rev.	16/04/2015	Ing. Carrillo M.		
			Apro.	16/04/2015	Ing. Carrillo M.		
				UTA Ing. Mecánica		Número del dibujo: 08 de 16	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)	



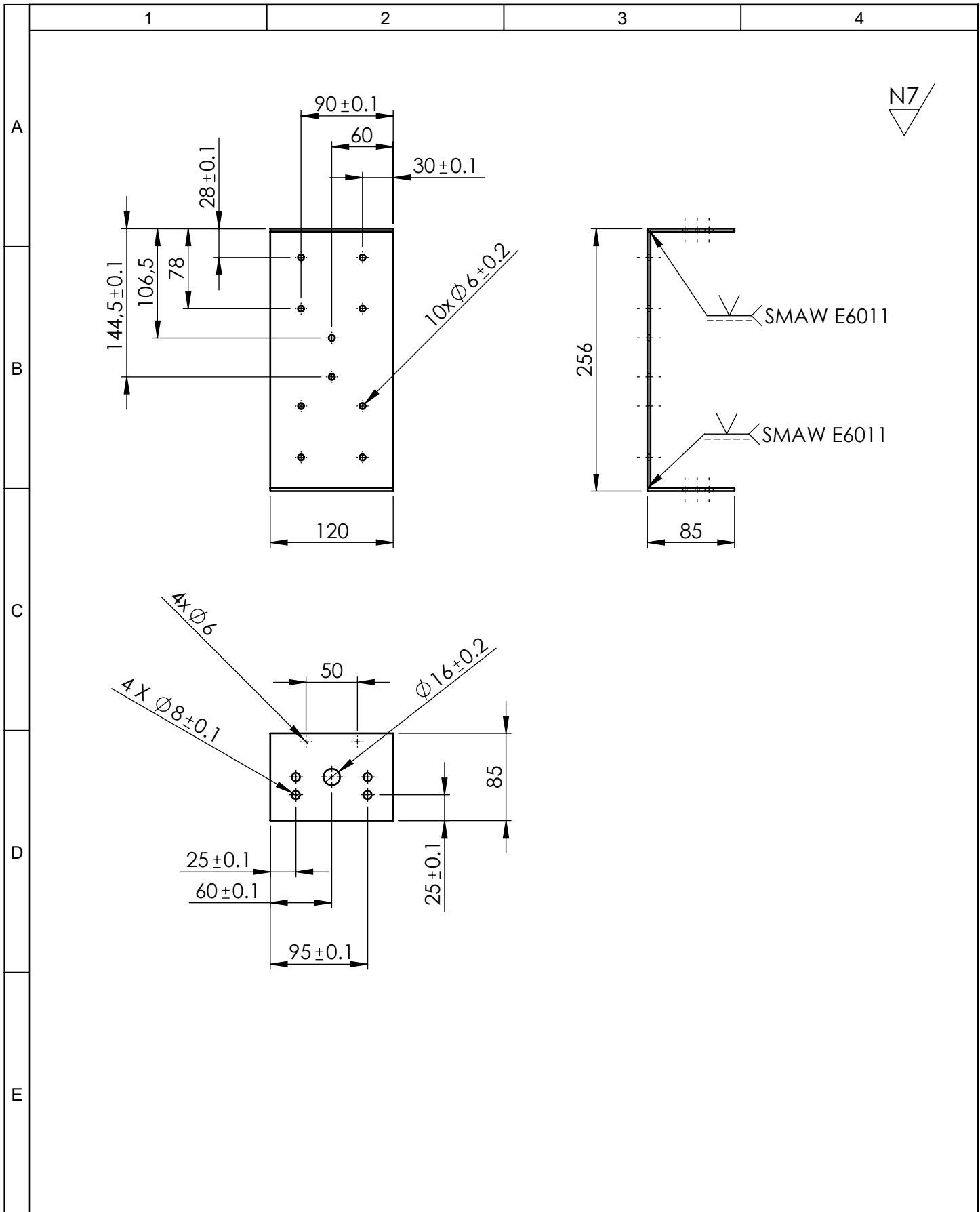


				Tolerancia	(Peso)	Materiales: ACERO AISI 1018	
				±0,1	1,37 Kg		
				Fecha	Nombre	Denominación:	Escala:
			Dib.	16/04/2015	Pilamala M.		
			Rev.	16/04/2015	Ing. Carrillo M.		
				Apro.	16/04/2015	Ing. Carrillo M.	1:2
				UTA Ing. Mecánica		Número del dibujo: 09 de 16	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)	



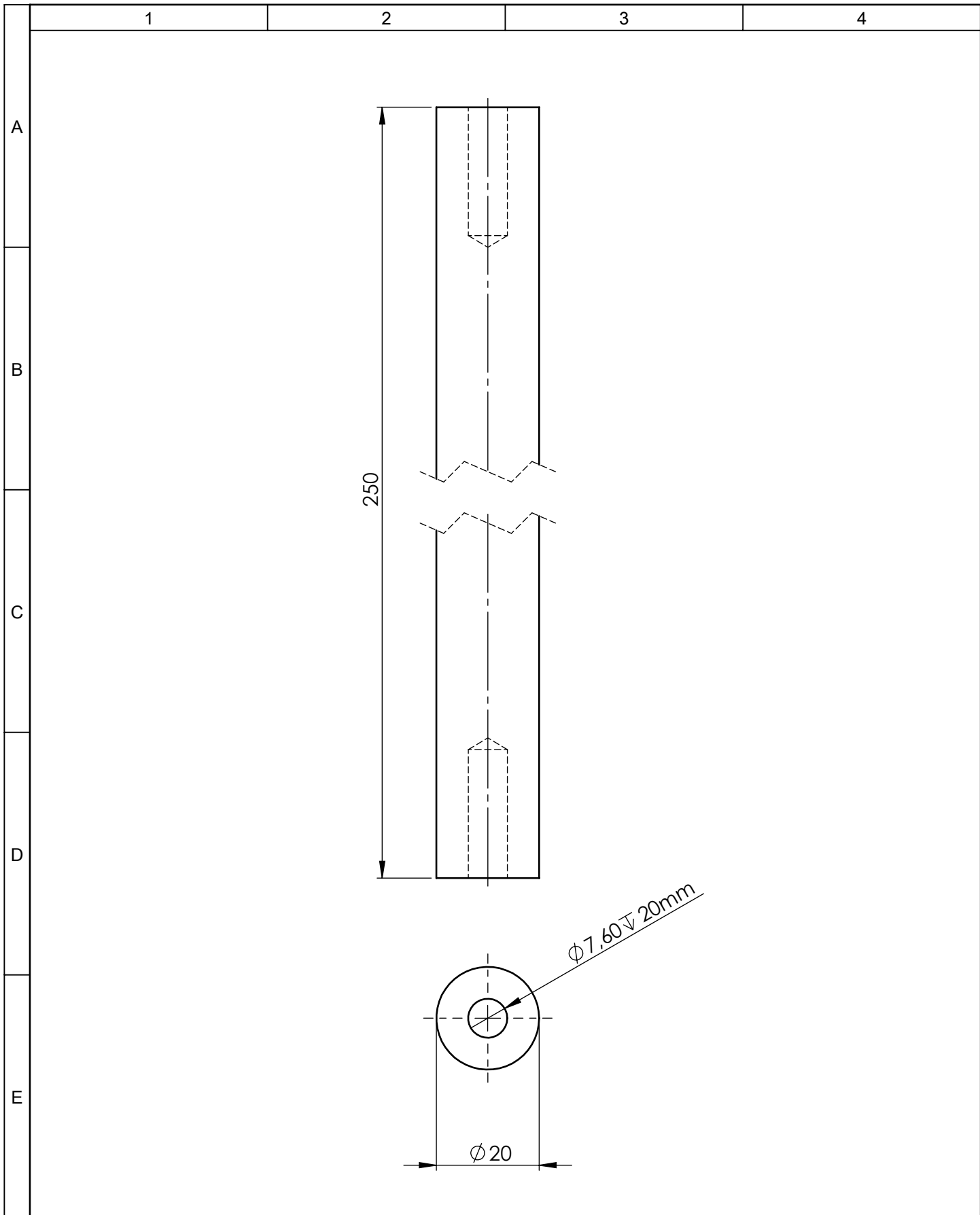
4	Pernos	M8x25mm	Acero	12	-	-	Adquirido
4	Chumacera lineal		Acero	11	-	0.17	Ensamblado
4	Pernos	M8x20mm	Acero	10	-	-	Adquirido
8	Pernos	M6x20mm	Acero	09	-	-	Adquirido
1	Soporte husillo	Tol 0.2		08	-	0.059	Doblado
1	Tuerca husillo	AISI 1045	Acero	07	-	0.19	Adquirido
2	Eje guía	AISI 1020	Acero	06	-	0.68	Taladrado
1	Husillo	AISI 1045	Acero	05	-	0.44	
2	Chumacera de pared		Hierro fundido	04	-	0.19	Adquirido
1	Eslabon Z	ASTM A36	Acero	03	-	0.50	Cortado, Limado
6	Pernos	M6x20mm	Acero	02	-	-	Adquirido
1	Abrasadera de sujeción		Aluminio	01	-	-	Adquirido
Nº de pieza	Denominación	Nº. de Norma/Dibujo	Material	Nº. de Orden	Nº. del Modelo/Semiproducto	Peso Kg/pza	Observación

		Tolerancia	(Peso)	Materiales: ACERO			
		±0,1	6.78 Kg				
		Fecha	Nombre	Denominación:			Escala:
		Dib. 16/04/2015	Pilamala M.	Eslabon Y			1:2
		Rev. 16/04/2015	Ing. Carrillo M.				
		Apro. 16/04/2015	Ing. Carrillo M.				
		UTA Ing. Mecánica		Número del dibujo: 10 de 16			
				(Sustitución)			
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				

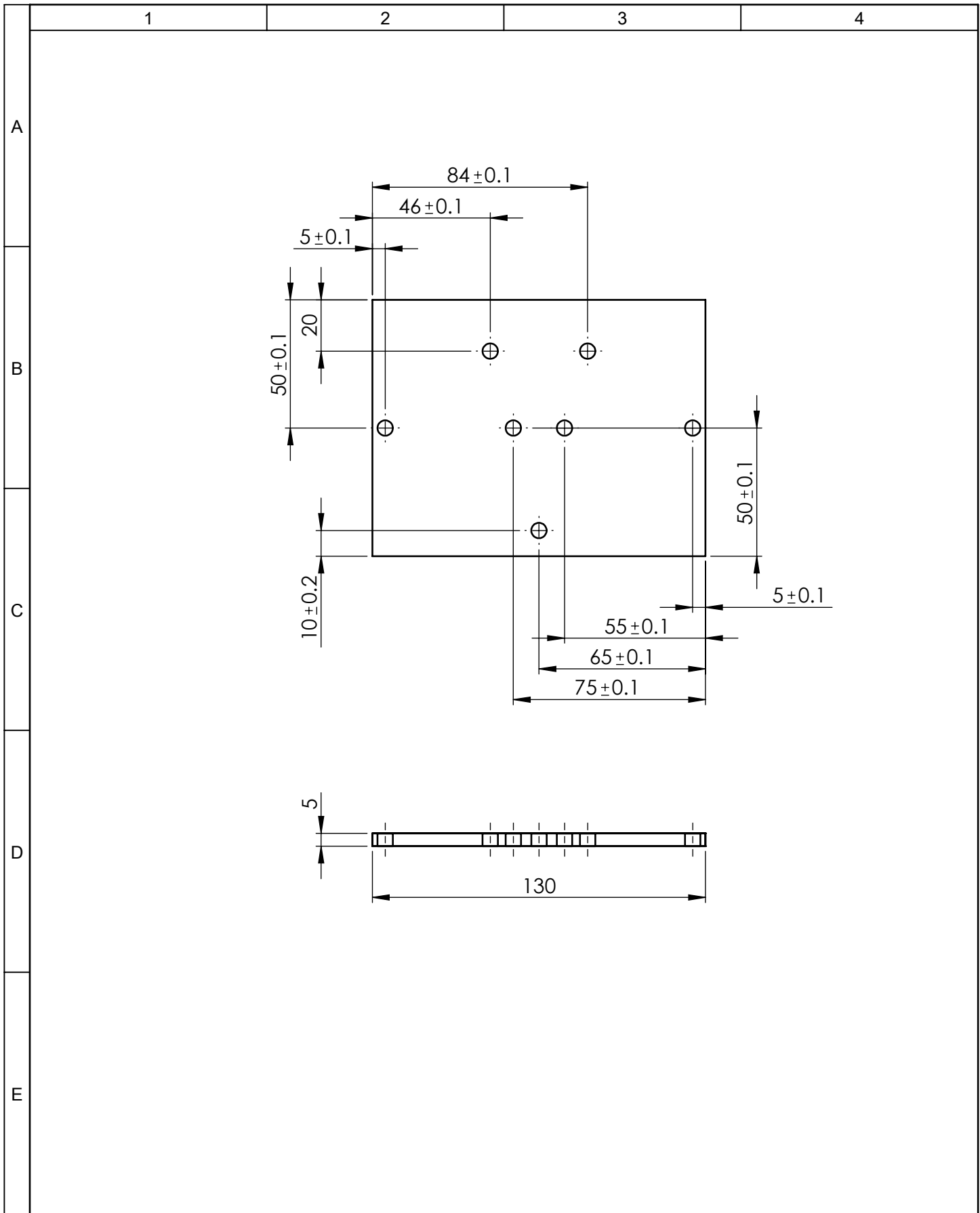


N7

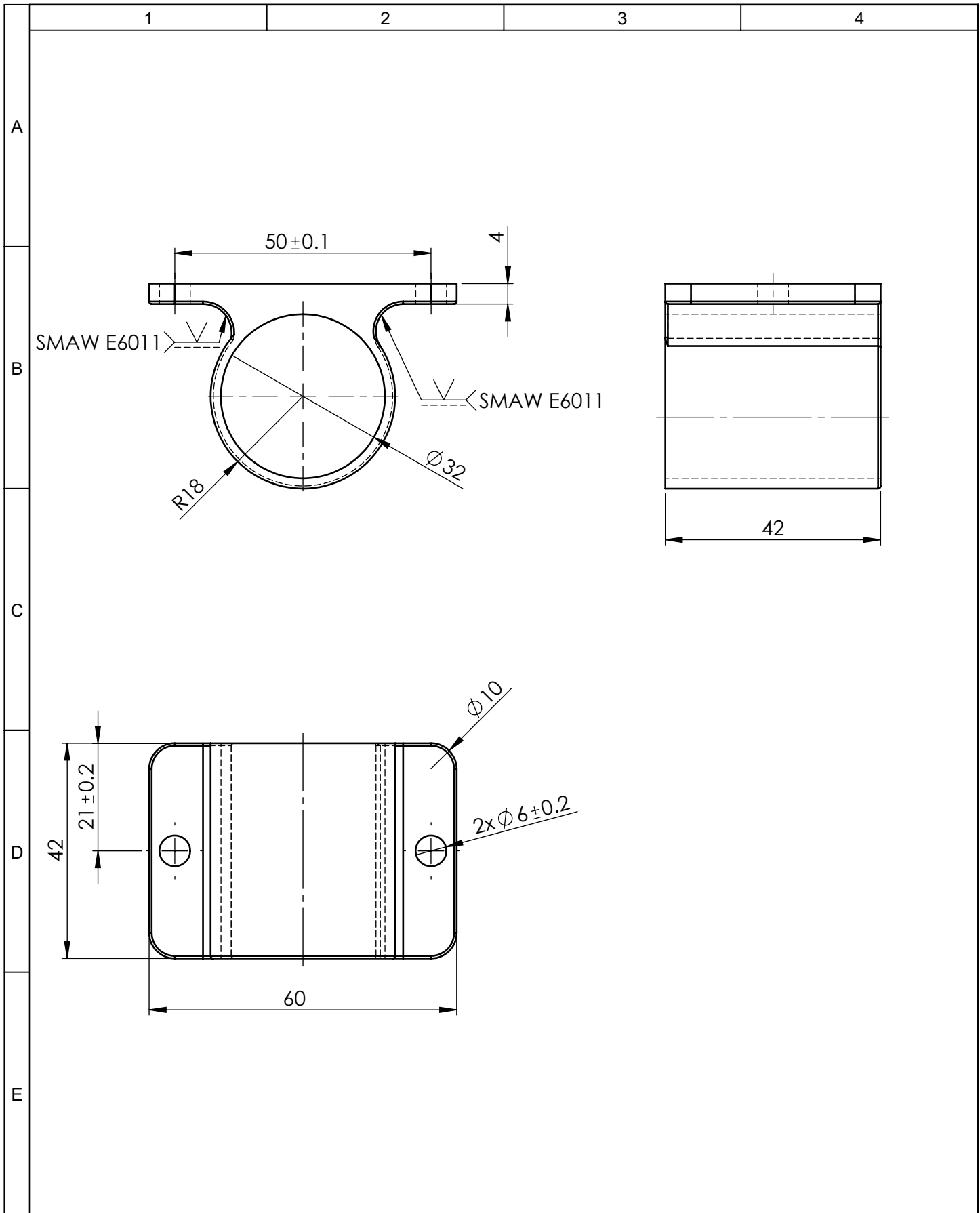
				Tolerancia	(Peso)	Materiales: ACERO ASTM A36	
				$\pm 0,5$	1,16 Kg		
				Fecha	Nombre	Denominación: <b>Eslabón eje Y</b>	Escala: 1:5
			Dib.	16/04/2015	Pilamala M.		
			Rev.	16/04/2015	Ing. Carrillo M.		
			Apro.	16/04/2015	Ing. Carrillo M.		
				UTA Ing. Mecánica		Número del dibujo: 11 de 16	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)	

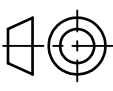


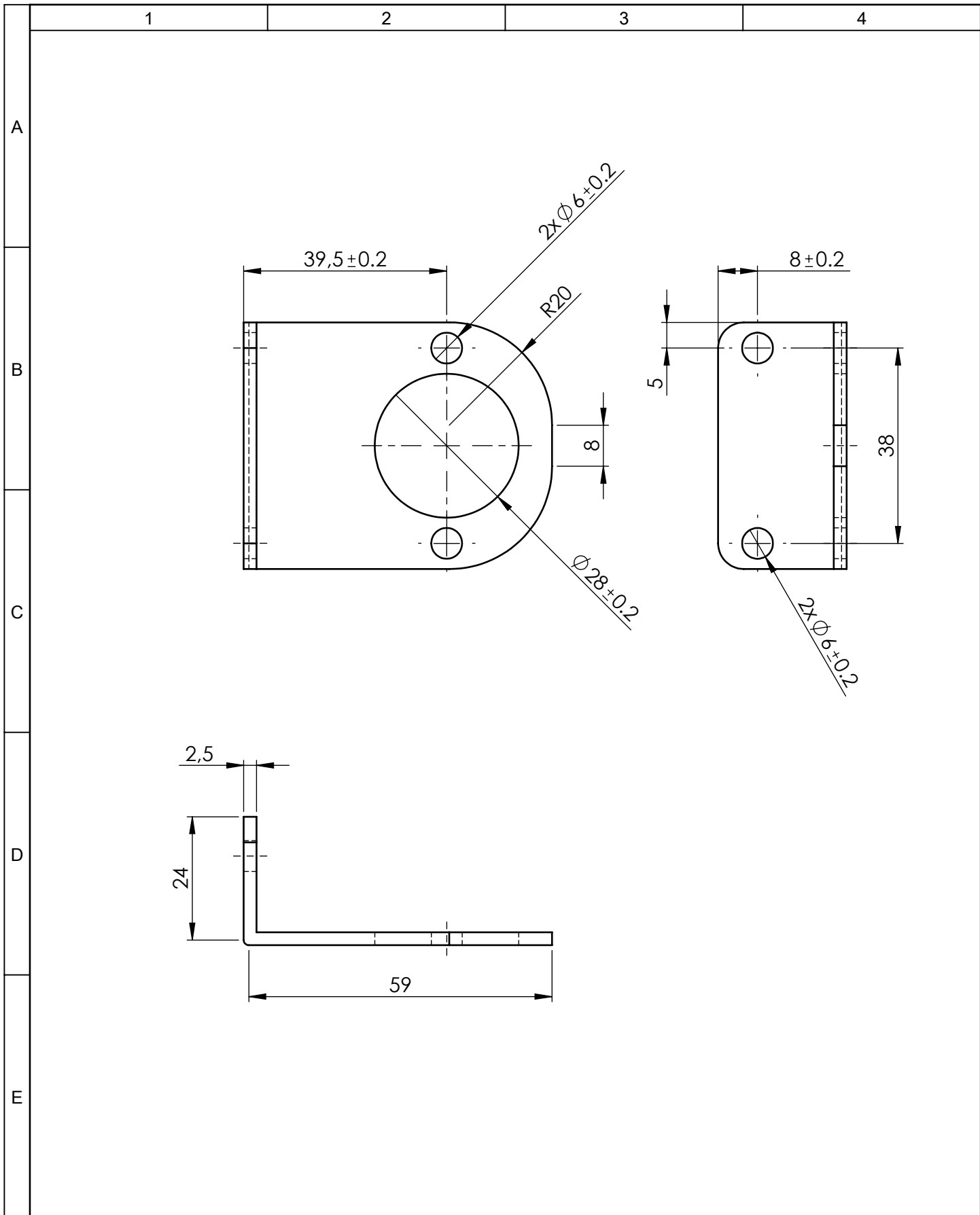
				Tolerancia	(Peso)	Materiales: ACERO AISI 1018	
				±0,1	0.68 Kg		
				Fecha	Nombre	Denominación:	Escala:
			Dib.	16/04/2015	Pilamala M.		
			Rev.	16/04/2015	Ing. Carrillo M.		
				Apro.	16/04/2015	Ing. Carrillo M.	1:1
				UTA		Número del dibujo: 12 de 16	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre	Ing. Mecánica		(Sustitución)	



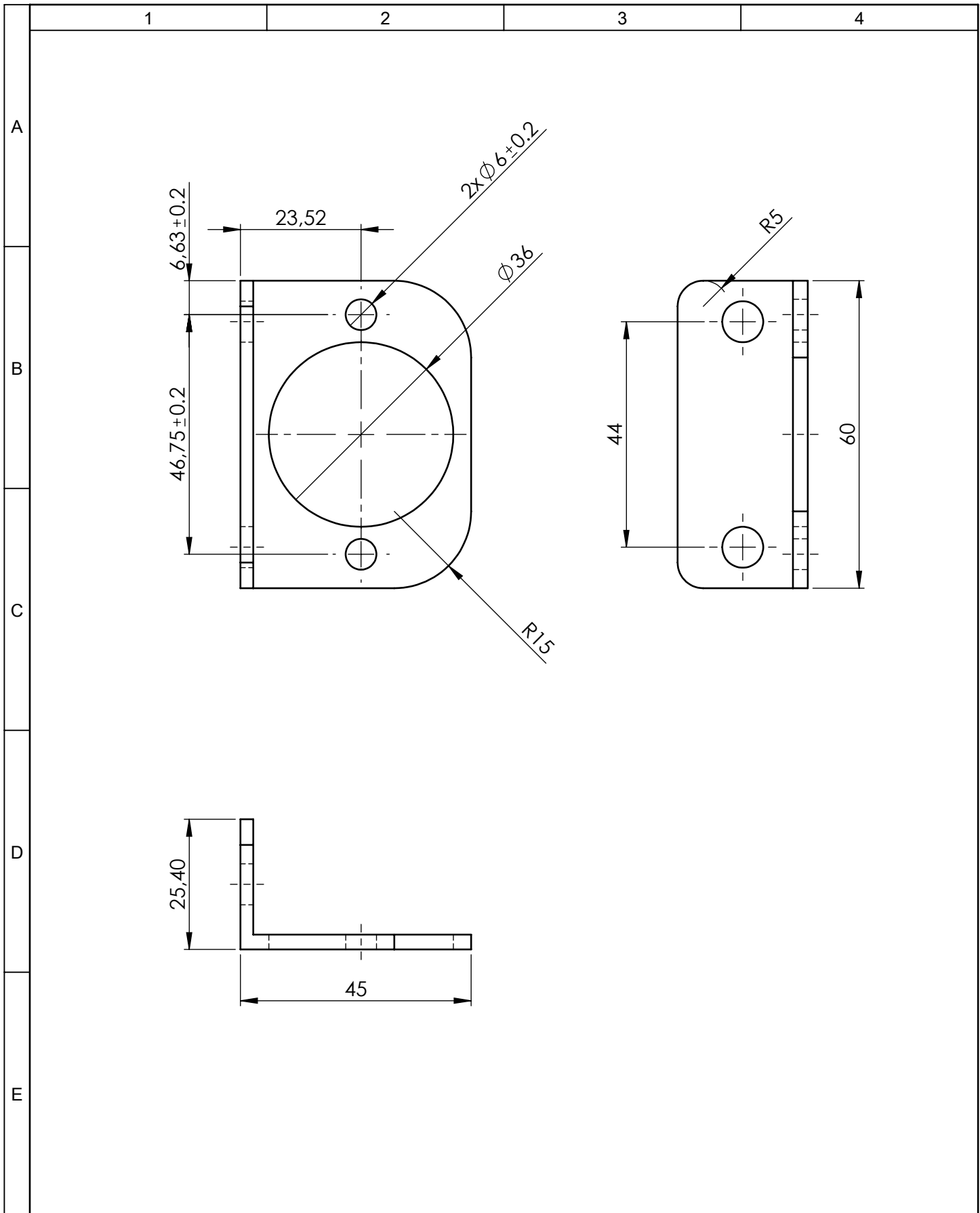
				Tolerancia	(Peso)	Materiales: ACERO ASTM A36	
				±0,5	0,5 Kg		
				Fecha	Nombre	Denominación: <b>Platina Eslabón Z</b>	Escala: 1:2
			Dib.	17/04/2015	Pilamala M.		
			Rev.	17/04/2015	Ing. Carrillo M.		
			Apro.	17/04/2015	Ing. Carrillo M.		
				UTA Ing. Mecánica		Número del dibujo: 13 de 16	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)	



				Tolerancia	(Peso)	Materiales: ACERO ASTM A36	
				$\pm 0,5$	0,17 Kg		
				Fecha	Nombre	Denominación:	Escala:
			Dib.	16/04/2015	Pilamala M.		
			Rev.	16/04/2015	Ing. Carrillo M.		
			Apro.	16/04/2015	Ing. Carrillo M.	Chumacera Lineal	1:1
				UTA		Número del dibujo:	14 de 16
				Ing. Mecánica		(Sustitución)	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				



				Tolerancia	(Peso)	Materiales: ACERO ASTM A36	
				$\pm 0,5$	0,059 Kg		
				Fecha	Nombre	Denominación: <b>SOPORTE HUSILLO</b>	Escala: 1:1
			Dib.	16/04/2015	Pilamala M.		
			Rev.	16/04/2015	Ing. Carrillo M.		
			Apro.	16/04/2015	Ing. Carrillo M.		
				UTA Ing. Mecánica		Número del dibujo: 15 de 16	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)	



				Tolerancia	(Peso)	Materiales: ACERO ASTM A36	
				±0,5	0,057 Kg		
				Fecha	Nombre	Denominación: <b>SOPORTE HUSILLO X</b>	Escala: 1:1
			Dib.	16/04/2015	Pilamala M.		
			Rev.	16/04/2015	Ing. Carrillo M.		
			Apro.	16/04/2015	Ing. Carrillo M.		
				UTA Ing. Mecánica		Número del dibujo: 16 de 16	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)	